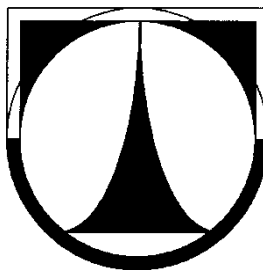


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojírenské technologie



**SLEDOVÁNÍ ZÁKLADNÍCH VLASTNOSTÍ
SLÉVÁRENSKÝCH OSTŘIV**

Monitoring the basic properties of foundry base sands

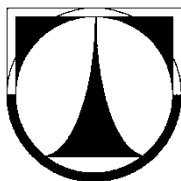
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jindřich Kaizr

2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Sledování základních vlastností slévarenských ostřiv

Monitoring the basic properties of foundry base sands

Jindřich Kaizr

KSP – SM – B40

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Machuta, Ph.D.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	64
Počet obrázků:	34
Počet tabulek:	5
Počet grafů:	2
Počet příloh:	3

Datum: 25.5.2012

Místo pro vložení originálního zadání BP

A N O T A C E

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: B2341 - Strojírenství
Student: Jindřich Kaizr
Téma práce: **Sledování základních vlastností slévárenských ostřiv**
Monitoring the basic properties of foundry base sands
Číslo BP: KSP – SM – B40
Vedoucí BP: Ing. Jiří Machuta, Ph.D.

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá jednotlivými složkami pískových slévárenských směsí s hlavním zaměřením na ostřiva.

Teoretická část této práce popisuje rozdělení ostřiv pískových formovacích směsí dle jejich parametrů. Dále se věnuje popisu technologických zkoušek, kterými se ověřují vlastnosti daných ostřiv. V experimentální části jsou provedeny a zpracovány některé typy zkoušek na vybraných vzorcích slévárenských ostřiv. V závěru jsou jejich dílčí výsledky vyhodnoceny a porovnány s katalogovými listy.

Klíčová slova: slévárenské směsi, ostřiva, druhy ostřiv, zkoušky ostřiv

Abstract:

This Bachelor Thesis introduces individual components of sand foundry forms with main focus on base sands.

The theoretical part of the Thesis concerns with division of base sand moulding sand mixes according to their parameters. Moreover it provides an inquiry into technological examinations, which verify particular base sands' characteristics. In the experimental part certain types of examinations of selected samples of base sands are carried out and processed. In conclusion, the partial goals are evaluated and compared to catalogue.

Key words: sand foundry forms, base sands, types of base sands, examinations of base sands

Zpracovatel:	TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra strojírenská technologie
Dokončeno:	2012
Archivní označení zprávy:	KSP – SM – B40

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TU v Liberci; v tomto případě má TU v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci, 25. května 2012

.....

Jindřich Kaizr
Havlovice 291
532 32 Úpice

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto **Ing. Jiřímu Machutovi, Ph.D.** za odborné vedení a rady při měření a zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval všem mým blízkým, kteří mne po celou dobu studia na FS TU v Liberci podporovali, bez jejichž podpory by tato práce nemohla vzniknout.

Obsah

Obsah	7
Seznam symbolů a jednotek	8
1. ÚVOD	9
2. CHARAKTERISTIKA PÍSKOVÉ SLÉVÁRENSKÉ FORMY	11
3. VLASTNOSTI SLÉVÁRENSKÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ	12
4. TYPY A VLASTNOSTI OSTŘIV	16
4.1. Ostřiva kyselého charakteru	16
4.2. Ostřiva zásaditého charakteru	24
4.3. Ostřiva neutrálního charakteru.....	26
4.4. Speciální a umělá ostřiva.....	32
5. TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY SLÉVÁRENSKÝCH OSTŘIV	38
5.1. Stanovení vlhkosti slévárenských ostřiv	38
5.2. Zkouška ke zjištění množství vyplavitelných látek	39
5.3. Zkouška ke stanovení zrnitosti síťovým rozborem (granulometrická skladba)	41
5.4. Hodnocení tvaru a vnějšího vzhledu slévárenských ostřiv - mikroskopické vyhodnocení	43
5.5. Stanovení koeficientu hranatosti zrn písku (W_K).....	43
5.6. Stanovení nasákavosti slévárenských směsí	47
5.7. Zkouška spékavosti slévárenských ostřiv	49
6. EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ ZKOUŠEK SLÉVÁRENSKÝCH OSTŘIV	50
6.1. Stanovení vlhkosti slévárenských ostřiv	50
6.2. Stanovení zrnitosti síťovým rozborem.....	52
6.3. Hodnocení tvaru a vnějšího vzhledu slévárenských ostřiv – mikroskopické vyhodnocení	59
6.4. Experimentální řešení zkoušky spékavosti slévárenského ostřiva.....	61
7. ZÁVĚR.....	63
Seznam použité literatury.....	64
Seznam příloh.....	65

Seznam symbolů a jednotek

100	celková navážka ostřiva	[kg]
ΣS	součet povrchů všech tříd	[m ²]
d	střední průměr zrn dané třídy	[m]
d ₅₀	velikost středního zrna (průměr ok síta, kterému odpovídá 50% z celkové hmotnosti ostřiva (po odplavení podílů menších než 0,02 mm))	[mm]
d ₂₅	průměr ok síta, kterému odpovídá 25% z celkové hmotnosti ostřiva (po odplavení podílů menších než 0,02 mm)	[mm]
d ₇₅	průměr ok síta, kterému odpovídá 75% z celkové hmotnosti ostřiva (po odplavení podílů menších než 0,02 mm)	[mm]
g	hmotnost celé třídy zrn	[kg]
K _p	dopočítaná konstanta konkrétního přístroje	[-]
L	výška vrstvy	[m]
m	pórovitosti vrstvy	[%]
m _o	hmotnost vysušeného ostřiva po plavení	[g]
m _p	hmotnost podílu ostřiva na síti	[g]
m _s	hmotnost vysušeného ostřiva naváženého před plavením	[g]
N	počet zrn v dané třídě zrnitosti	[-]
S	stupeň stejnorodosti (pravidelnost zrnění)	[-]
S	povrch zrn jedné třídy mezi dvěma síty	[m ²]
s	povrch zrna za předpokladu ideálně kulovitého tvaru	[m ²]
S _w	měrný povrch ostřiva - vnější	[m ² ·kg ⁻¹]
S _{WT}	měrný povrch ostřiva - teoretický	[m ² ·kg ⁻¹]
T	doba prosávání vzduchu evakuovanou vrstvou ostřiva	[s]
V _L	množství vyplavitelných látek	[%]
W _K	koeficient hranatosti ostřiva	[-]
ρ	měrná hmotnost ostřiva (pro β-SiO ₂ = 2650 kg/m ³)	[kg·m ⁻³]
ρ _v	objemová hmotnost vrstvy	[kg·m ⁻³]
	podíly ostřiva na sítích	[%]

1. ÚVOD

Slévárnictví v České republice zaujímá 6. až 7. místo ve výrobě odlitků v Evropské unii. Je známo svojí dobrou kvalitou odlitků a ta je také hlavním důvodem zvyšování výroby odlitků. Je perspektivním a významným oborem průmyslové činnosti v České republice, který podporuje růst celé řady dalších oborů a průmyslu jako celku.

Slévárnictví je tradiční výrobou České republiky, která se v posledních letech modernizovala. Jsou používány pokrokové technologie, pro řízení je používána počítačová technika. Byly instalovány výkonné a po technické stránce moderní stroje, linky, agregáty a přístroje. Slévárnictví plní přísné ekologické zákony.

Odlitky jsou nezbytnými produkty pro strojírenství, automobilový průmysl i stavebnictví. Bez odlitků se neobejdeme v domácnostech ani v průmyslu při sériové výrobě. V současné době výroba odlitků činí 30 mld. Kč a slévárnictví zaměstnává kolem 24000 pracovníků. Meziroční nárůst výroby odlitků je 12%. Slévárnictví se stalo exportním oborem. I nově přichozí investoři hledají v České republice kvalitní odlitky pro své finální výrobky [12].

Nyní ale Svaz sléváren řeší problém obchodování s emisními povolenkami, které slévárnictví v minulosti nijak nezatěžoval. Došlo ke změně a slévárnictví se dostalo do recese. V jiných evropských státech (Francii, Itálii a Německu) již mají upravenou legislativu tak, aby je neomezovala. Pokud se i v ČR neupraví zákony týkající se tohoto omezení, tak nebude schopno s cenou odlitků konkurovat, a tím může nastat ohrožení trhu v určitých oblastech slévárenské produkce [13].

Pro zvyšování jakosti vyráběných odlitků je třeba nejen modernizovat technické a technologické zařízení sléváren, ale také zdokonalit jakost formovacích směsí. To vše pomáhá k technickému rozvoji ve slévárenské výrobě. Jádra a formy vyráběné z pískových formovacích směsí vyžadují pečlivou znalost vlastností základních surovin směsí (tj. ostřiva, pojiva, přísad a vody) a jejich vzájemného působení při přípravě a zpracování. Pečlivá znalost je nutná i pro vzájemné působení forem a jader při styku s tekutým kovem.

Je tedy nutná nejen kontrola slévárenských forem a všech jejich složek, ale také kontrola celého procesu výroby formovacích směsí. První kontrola probíhá v laboratořích a druhá přímo v provozu sléváren. Výrobní metody se vyvíjejí zároveň s vývojem materiálů nových generací slévárenských materiálů.

Moderní ideální formovací směs by měla zajišťovat dostatečnou tekutost, která by po styku s modelovým zařízením za normální teploty ztuhla a vytvořila tenké, hladké a vysoce pevné stěny formy. Aby byla chemicky netečná vůči litému kovu, nesmáčivá, s dostatečnou prodyšností pro unikání plynů a vzduchu z formy při lití. Dále, aby splňovala podmínky pevnosti a rozměrové stálosti až do ztuhnutí dostatečně tlusté kůry odlitku, pak se rozpadla nebo vypařila na výchozí stav a umožnila opětovné použití bez nutnosti regenerace. A také, aby byla levná. Dnes sice lze nalézt směsi, které splňují některé tyto vlastnosti, ale bohužel mají také zásadní nevýhody, které brání jejich širokému používání [2].

2. CHARAKTERISTIKA PÍSKOVÉ SLÉVÁRENSKÉ FORMY [2]

Slévárenská forma je přípravek vyrobený ze žáruvzdorného materiálu, jehož dutina odpovídá svým tvarem negativu budoucího odlitku. Formy mohou být trvalé (kovové kokily pro tlakové lití s mnohonásobným počtem odlití), polotrvalé (keramické, slouží pro více odlití) nebo netrvalé (pískové nebo keramické na jedno použití).

Výroba pískových forem se provádí přímo ve slévárnách a je součástí celé slévárenské výroby. Zhotovují se z formovacích směsí a slouží pro jedno odlití (jeden odlitek). Po odlití se rozbije a směs může sloužit pro přípravu nové směsi a pěchování nové formy (jádra). Je to nejuniverzálnější možnost výroby odlitků, bez ohledu na jejich tvar, rozměry a hmotnost. Proto také tento způsob výroby odlitků zaujímá hlavní podíl na celém světě.

Pískové formy jsou formy velmi často používané k odlévání litiny, slitin hliníku, oceli na odlitky atd. Pískové formy mohou být před odléváním syrové (nevysušené), přisušené (jsou vysušené pouze u pracovního povrchu – tzv. líce formy), nebo vysušené.

Podkladem pro výrobu odlitků v pískových formách je strojírenský výkres (kótovaný výkres) součástky, která se má vyrobit. V současné době se při navrhování a konstrukci používají PC vybavené nejrůznějšími konstrukčními programy. Tvar finálního odlitu je závislý na dobře fungující spolupráci mezi technologem a konstruktérem, aby se usnadnila výroba forem a snížilo nebezpečí vzniku vad u odlitků (trhlin, povrchových a vnitřních defektů).

Nejdůležitější složkou pískové formy je **slévárenská formovací směs**, do které je po vytvoření dutin naléván roztavený kov.

3. VLASTNOSTI SLÉVÁRENSKÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ [1], [4]

Formovací směs je polydisperzní třífázová soustava, jejíž vlastnosti závisí na vlastnostech a vzájemném působení všech tří fází – tuhé, kapalné a plynné. Částice, které tvoří a určují kostru celé soustavy, různé velikosti a tvaru, tvoří tuhou fázi nazývanou ostřivo. V mezerách mezi tuhými částicemi je uzavřena kapalná fáze (pojivo, voda,...) a plynná (vzduch).

Formovací směs může být modelová, výplňová, jádrová nebo jednotná. Modelová formovací směs je připravována z nových surovin, kterými se po upěchování obkládá model, kde přichází do styku s tekutým kovem. Výplňová (vratná) formovací směs se používá jako výplň zbývajících objemu formovacího rámu nebo vnitřní části jádra. Je připravována z vratné, již použité modelové směsi. Jádrová formovací směs tvoří celý objem nebo jen lícni část (pracovní povrch) jádra. Připravuje se zpravidla z nových surovin. Podle jakostních požadavků jsou na ni kladeny vyšší nároky, nežli u modelové směsi. Jednotná formovací směs se používá při technologii jednotných bentonitových směsí. Ale také u strojní výroby forem, kde celý objem formovacího rámu tvoří jediná směs, která je už jednou nebo vícekrát použita po úpravě v každém oběhovém cyklu (vychlazení, ovlhčení, oživení)

Ostřivo je zrnitý materiál, tvoří hlavní objem směsi a skelet forem a jader. Jde o nosnou část formovací směsi. Jsou odolné proti vysokým teplotám (žárovzdorné). Podle jejich zrnitosti ovlivňují kvalitu povrchu odlitku. Materiál s velikostí zrn nad 0,02 mm. Vedle aktivity povrchu zrn patří k jeho nejdůležitějším vlastnostem hranatost a granulometrie částic. Obě charakteristiky rozhodují o objemové hmotnosti, pórovitosti a tedy i prodyšnosti a propustnosti směsi, tepelné dilataci a vzniku napětí z brzděné dilatace, tepelné vodivosti směsi, také ovlivňují pevnost forem a jader. Podle chemické povahy se dělí ostřiva na *kyselé* (křemenné písky), *zásaditá* (magnezit, chrommagnezit) a *neutrální* (šamot, olivín, korund). Dle původu vzniku se dělí ostřiva na *přírozená* (křemenné písky, olivín, zirkon, dunit, atd.) a *umělá* (šamotová drť, chrommagnezit, korund a dal.).

Pojivo je látka nebo směs látek tvořící pojivovou soustavu, dávající směsi vaznost a plastičnost za syrova, nutnou pro formování, pevnost po vytvrzení (vysoušení), za vysokých teplot při lití i odlití (rozpadavost). Slouží ke spojování zrněk ostřiva. Velikost pojivových částic je menší než 0,02 mm. Rozdělují se na organická a anorganická. Organická jsou např. pryskyřice, tuky, oleje a další. Anorganická jsou jak na bázi jílu, tak i vodní sklo, sádra, cement.

Formovací směsi se také dělí dle generací pojiv. **Formovací směsi 1. generace pojiv**, u které základní složení bývá křemenný písek, lupek, magnezit a jílové pojivo (bentonit, illit, kaolín s příslušným množstvím vody). Formy a jádra získávají pevnost upěchováním, střešáním, metáním, lisováním, u větších forem a jader musíme povrchové vrstvy nebo v celém objemu formovací směs vysušit.

Formovací směsi 2. generace pojiv, kde ostřivem bývá křemenný písek, magnezit, zirkonový písek, mletý korund. Pojiva jsou na podkladu chemických látek, vytvrzují se na základě chemických reakcí. Formy a jádra se pěchují vstřelováním nebo vibrací. Manipulační a technologické pevnosti se dosahuje až po chemické reakci, která je mnohdy urychlována tepelně (sádrové formy, keramické formy). Formovací směsi pro metody 2. generace přinesly *chemizaci* do slévárenské výroby, její automatizaci, ale také velké ekologické problémy.

U **Formovací směsi 3. generace pojiv** se používá jako ostřivo nejčastěji křemenný písek, magnezit, zirkonový písek, mletý korund, kovové prášky v suchém stavu. Pojivo se nepoužívá, pouze někdy se přidává voda s nízkým obsahem bentonitu. Výroba forem je realizována *fyzikálními* způsoby. Pěchování je nahrazeno vibrací ostřiva, jednotlivá zrna jsou pojena účinkem fyzikálních vazeb (magnetickým polem), vakuem, hlubokým zmrazením aj. Formy se po odlití rozpadají zrušením účinku silových polí.

U **Formovací směsi 4. generace pojiv** se používá zrnité ostřivo, pojivo je nahrazeno živými organismy, např. bakteriemi. Tyto systémy jsou ve stadiu výzkumu a hovoří se o *biologizaci* výroby forem a jader. Princip je založen na tom, že biologická látka ve funkci pojiva se po zaformování rychle rozmnoží a spojí všechna zrna ostřiva. Po ztuhnutí odlitku je nutno organismy usmrtit.

Voda se používá u jílovitých a anorganických pojiv (cement, vodní sklo). Voda (plastifikátor) se používá nejvíce u směsí, kde je použito jílové pojivo (přidává se cca 4%).

Přísky jsou látky, které zlepšují vlastnosti připravované směsi ze základních složek. Např.: přísady na zlepšení rozpadavosti po odlití (bauxit, bukové piliny), zlepšení povrchové jakosti (mleté uhlí, aktivované moučky oleje), pro zvýšení odolnosti vůči zapékání (kamenouhelná moučka) a pro lepší prodyšnost (dřevěné uhlí) atd.

Pozn.: Při použití umělých pryskyřic jako pojiva, obsahuje směs jen minimální množství vody, které přinášejí s sebou suroviny (křemenný písek, pryskyřice atd). Přídavek vody způsobí zpomalení nebo úplné zastavení polykondenzačních vytvrzovacích reakcí a podstatné snížení pevnosti.

Připravením směsi z jednotlivých komponentů vznikne syntetická směs (např. syntetická bentonitová směs je připravena z písku, bentonitu, vody a přísad).

Ale stále se ještě používají ve slévárnách přirozené písky. Dají se používat přímo v natěženém stavu (po přemíchání a úpravě vlhkosti). Přirozené písky obsahují křemenný písek (ostřivo), jílové pojivo (kaolinit a illit – méně montmorillonit) a vodu. Používají se hlavně na výrobu sušených forem a jader. Uplatňují se ve slévárnách neželezných kovů, méně ve slévárnách litin a ocelí. Jejich menší využití je spojeno se stále se zvyšujícími nároky na povrchovou jakost odlitků, vysokou produktivitu výroby forem a jader na syrovo a se snižující kvalitou dříve jakostních lokalit (ZMP – Rájec).

Technologie výroby formy a odlitku udává požadavky na vlastnosti formovacích směsí. Během technologického procesu musí *formovací směs* projít přípravou, poté dopravou a skladováním a až potom dojde k výrobě formy. Průběh pochodů u *jádrové směsi* se skládá z přípravy jádrové směsi, následuje doprava a skladování, výroba jader, zakládání jader a složení formy, potom odlévání formy, následné ochlazení a oddělení směsi od ztuhlého odlitku. Nakonec dojde k regeneraci směsi.

Ve výrobním procesu prochází formovací směs dvěma fázemi. V první fázi prochází formovací směs zhotovením formy a jader vč. různých stádií přepravování směsi, kde je formovací směs *materiálem*, pomocí něhož se vytváří forma. U směsi je požadována homogenní příprava, dokonalá formovatelnost (tekutost, plasticita,

vstřelovatelnost aj.), malá osychavost a drobivost, mechanická pevnost ve spěchovaném stavu, přesnost udržení tvaru po vytažení modelu, dlouhá životnost atd.

Ve druhé fázi formovací směs prochází vzájemným působením formovací směsi na tekutý kov a tuhnoucí odlitek, kde je formovací směs *nástrojem*, pomocí něhož se tekutý kov přeměňuje v odlitek. Při součinnosti působení kovu musí formovací či jádrová směs mít dostatečnou prodyšnost, malou plynotvornost, tepelnou a chemickou stálost, mechanickou pevnost v zahřátém stavu, poddajnost při tuhnutí odlitku aj.

Použití směsi lze zařadit do tří modelových systémů.

1. Modelová směs se připravuje z nového ostřiva a přísad.
2. Výplňová směs se připravuje z regenerované vratné směsi. Nové ostřivo se dostává do systému zčásti nebo úplně z vytlučené jádrové směsi. V tomto případě se modelová směs připravuje z vratné směsi přidáním pojiva a přísad. Pro výplňovou směs slouží vratná směs, jejíž vlastnosti byly homogenizovány pouze opětným zvlhčením a rozmíšením.
3. Jednotná směs, jejíž vlastnosti jsou upravovány dokonalou regenerací a přípravou vratné směsi. Jednotné směsi jsou vyžadovány pro sériovou výrobu strojních odlitků z šedé litiny a oceli při lití nasyrovo.

Formovací materiál má výrazný vliv na kvalitu odlitků. Při sledování výskytu vad bylo zjištěno, že až 50% zmetkových odlitků je způsobeno formovací směsí nebo jejím nevhodným použitím. Použitá formovací směs může příznivě ovlivnit zabíhavost slévárenských slitin, kvalitu povrchu odlitku (např. zadrobeniny, zapečeniny, zálupy, bubliny, atd.). Dále může určovat mechanické vlastnosti, strukturu odlitku po ztuhnutí, vnitřní zbytková pnutí a další [1].

Tato bakalářská práce se dále detailněji věnuje popisu jednotlivých typů ostřiv a technologických zkoušek, které jsou určeny pro zjištění jejich konkrétních vlastností. Vzhledem k zadání této práce se již podrobněji nezabývá ostatními složkami pískových slévárenských směsí.

4. TYPY A VLASTNOSTI OSTŘIV

Slévárenské ostřivo jako nosná část formovací směsi se řídí podle normy ČSN 72 1204-70. Jde o souhrn písku se zrny většími než 0,02 mm. Ostřivo je hlavní hmotnostní fází formovací směsi a určujícím činitelem jejích mnoha vlastností. Tyto vlastnosti jsou dány chemickým a mineralogickým složením ostřiva a jemnostním rozdělením jeho částic různé velikosti a tvaru [2].

Ostřiva se rozdělují podle chemické povahy na kyselé, zásaditá a neutrální a podle původu vzniku na ostřiva přirozená a umělá (viz. kapitola 3).

4.1. Ostřiva kyselého charakteru

Křemenné písky

Křemenné písky patří k neekonomičtějším a tedy i nejrozšířenějším ostřivům pro přípravu směsí, které jsou obsaženy v přirozených pískách [1].

Základní surovinou formovacích hmot je oxid křemičitý SiO_2 . Je nejrozšířenějším minerálem v přírodě a má vhodnou zrnitost a jeho teplota tání je nad 1700°C (vhodný pro výrobu forem k odlévání většiny slévárenských slitin).

Vedle těchto příznivých vlastností má SiO_2 i vlastnosti méně vhodné. Při ohřevu prodělává polymorfní přeměny, které se projevují objemovými změnami a poruchami celistvosti formy. Křemen je sloučenina vysloveně kyselé, která reaguje se zásaditými látkami (snížení žáruvzdornosti) a některé obsažené živce snižují teplotu tavení. Křemenný prach vyvolává silikózu, která je velmi vážným onemocněním.

Oxid křemičitý může existovat v několika krystalických a jedné amorfní modifikaci. Bezvodý SiO_2 je v modifikacích: křemen α a β , cristobalit α a β , tridymit α , β , γ a křemenné sklo.

β -křemen je základním a nejrozšířenějším typem křemene v přírodě. Má podobu křemenných písků, křemenců, různých druhů křišťálů, součástí vyvřelých hornin, pískovců, příměsí v jílech a kaolínech [2].

Krystalizuje v soustavě trigonálně trapezoedrické, tvrdost má 7, měrná hmotnost se pohybuje v mezích 2620 - 2660 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]. Sypná hmotnost (hmotnost objemové jednotky kameniva s dutinami a póry včetně mezer mezi zrny) je 1500 - 1600 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] [1], [9].

Křemenné písky pro přípravu syntetických směsí musí být vysoce mineralogicky čisté ($\text{SiO}_2 > 96\%$), vysoce pravidelné (nejlépe monofrakce a pak podle požadavku skládat), málo hranaté (kulaté písky jsou vhodné pro organická pojiva, tzn. malý povrch, min. spotřeba pojiva, ale bohužel neodolávají tolik změnám teplot a jsou náchylnější k vadám z tepelného pnutí). Měly by mít co možná nejmenší koncentraci jemných podílů i na síť 0,1 mm a neměly by obsahovat hrubší zrna nad 0,5 - 0,6 mm (neplatí pro masivní odlitky).

Písky pro ocel musí obsahovat minimum živců (do 1%). Důležitá je disperzita živců. Někdy vyšší koncentrace tolik nevádí, jsou-li jemnozrné. Živce mají nízký bod tavení a silně snižují teplotu spékání písků.

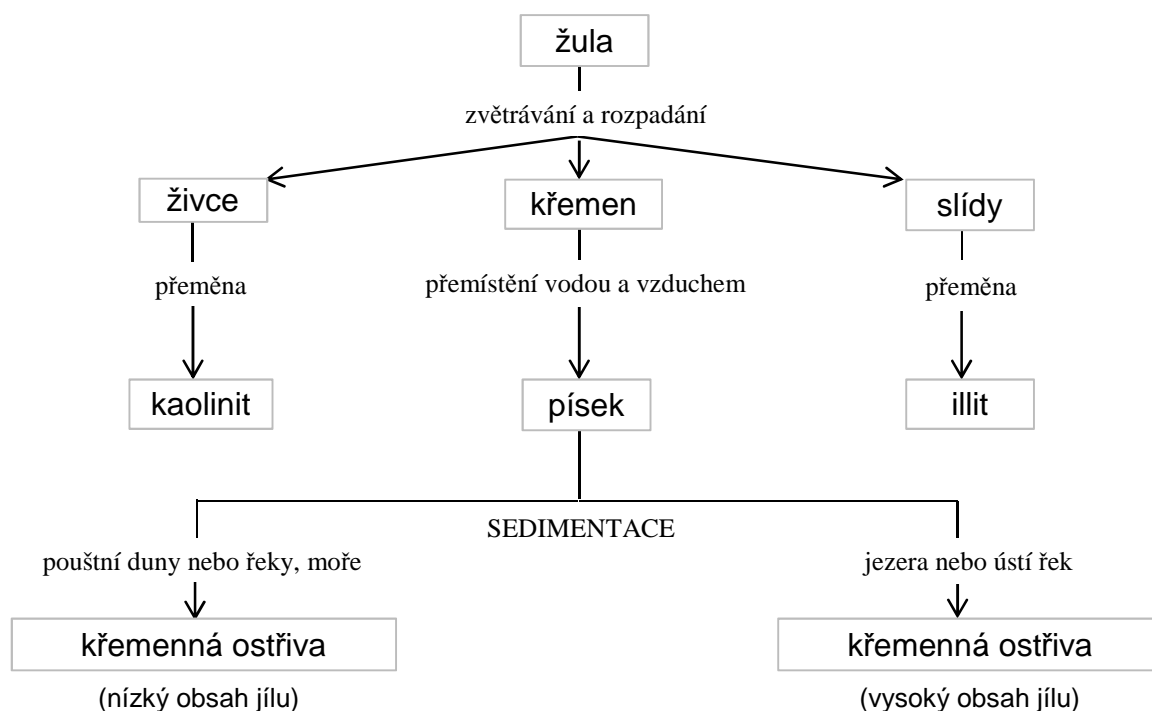
S ohledem na požadovanou hladkost povrchu odlitků je celosvětovým trendem pracovat s jemnozrnými písky o velikosti středního zrna okolo $d_{50} = 0,22$ mm (pro masivní odlitky $d_{50} > 0,3$ mm). Povrch zrn by měl být vysoce aktivní, čistý bez povlaků a nalepených částic.

Odstraněním vyplavitelných podílů (pod 0,02 mm, ale i hrubozrných podílů nad 0,4 - 0,5 mm a i jemných částic ostřiva včetně 0,1 mm) lze podstatně zvýšit pevnost směsí s organickým pojivem, bez ohledu na typ křemenného písku. Jemné podíly mají vysoký povrch a zvyšují spotřebu pojiv, tudíž snižují tloušťku zrnové obálky pojiva i pevnost směsí. Nejjemnější podíly pak v obálce pojiva působí jako vnitřní vruby.

Jak vyplývá ze všeobecného přehledu hlavních požadavků na kvalitní křemenné písky, bude pro jejich splnění rozhodující jejich geneze, protože další dodatečné úpravy jsou velice drahé a náročné (provádí se praní, třídění a sušení) [1].

Vznik křemenných písků (obr. 4-1) je způsoben zvětráváním a rozpadem žuly. Žula se rozpadá na živce, slídy a křemen v poměru přibližně 4 : 2 : 4. Z živců přeměnou vzniká kaolinit, ze slídy illit, z přemístěného vodou či vzduchem křemen SiO_2 a písek. Sedimentací písku v pouštních dunách, řek a moří získáváme křemenné písky s malým obsahem jílu do 2% (kaolinit) - vhodné pro slévárenské účely, a přírodní písky s vysokým obsahem jílu až 50% (kaolinit, illit).

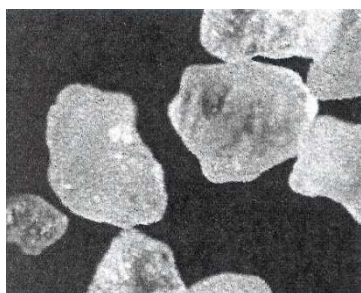
Vytěžené písky ze sedimentovaných vrstev obsahují mnoho nečistot, které je třeba odstranit pro jeho následné použití ve slévárně. Dále se musí také rozdělit z hlediska granulometrie. Proto se drtí a dále upravují - zbavují kalu, prosévají a třídí vodním procesem [8].



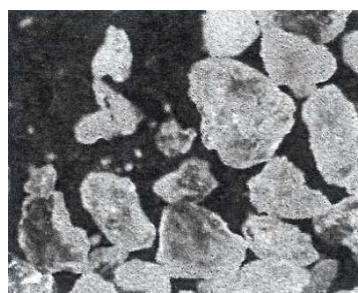
Obr. 4-1 Schéma vzniku křemenných písků [8].

Česká republika patří k málo zemím s tak bohatými zásobami vysoce jakostních písků (sklářská tradice – křišťál). **Naše nejvýznamnější křemenné písky** jsou těženy ve třech hlavních oblastech: křídové stáří (česká křídová tabule), moravská křídová tabule, váté a kaolinové písky.

Písky křídového stáří (tj. nejmladší období druhohor) (Provodín T2S, Střeleč T2S, Střeleč KM a Srní) jsou křemenné písky české křídové tabule, které jsou relativně málo znečištěné jílovými minerály (vyplavitelných podílů pod 0,5%), mineralogicky i chemicky velmi čisté. Mají obvykle Fe_2O_3 pod 0,05%, který je vázán převážně na těžké minerály, kterých mají méně než 0,8%. Povrchové znečištění zrn železitými sloučeninami je malé. Zrna jsou izometrická se středním stupněm zaoblení hran (obr. 4-2). Písky jsou téměř bez živců, proto jsou vhodné na formovací směsi pro ocelové odlitky. Střeleč leží 3 km jihovýchodně od Trosků v Českém ráji. Mocnost (hloubková vrstva) suroviny je až 88 m. Provodín a Srní leží 7 - 8 km jihovýchodně od České Lípy.



a)

a) *Střeleč*

b)

b) *Provodín*

Obr. 4-2 Křemenné písky z lokalit Střeleč, Provodín [1].

Křemenné písky moravské křídové tabule (Dolní Lhota O-23, Dolní Lhota O-38 a Boskovice) jsou ve srovnání s písky ze Střelče a Provodína méně čisté. Mají vyšší koncentraci Fe_2O_3 (0,07 - 0,16%), který je vázán z větší části ve formě limonitových povlaků na zrnech. Obsah těžkých minerálů je u písku Dolní Lhota O-23 0,64%, Dolní Lhota O-38 0,21%, Boskovice 0,42%. Obsah živců nepřekračuje 1%. Tvarová charakteristika zrn je obdobná jako u písků české křídové tabule. Písky jsou použitelné i pro ocelové odlitky.

Křemenné písky z lokality *Svitavy* obsahují z původní suroviny asi 6% zemitého pojiva. Převážná část Fe_2O_3 (0,13%) je u této lokality vázána na povrch zrn a na vlastní křemennou hmotu. Malé množství je pak v těžkých podílech, kterých je 0,37%. Množství živců je kolem 3,5% v podobě slabě rozložených zrn. Tento písek není vhodný pro slévárny ocelí z důvodu obsahu 0,69% alkálií.

Váté písky se nacházejí v oblasti moravsko-slovenského pomezí. Vyznačují se vysokou kulatostí zrn, která je výsledkem obrušování a eroze při vzdušném a vodním přemísťování ze značných dálek. Jejich povrch je proto výrazně změněn ve srovnání s písky křídovými. Dle typu lokalit se rozdělují na tropické pouštní písky, nebo písky pobřežních dun mírného pásma. U obou se vyskytují dva stabilní typy textury; obroušené hrany a stupňovité oblouky.

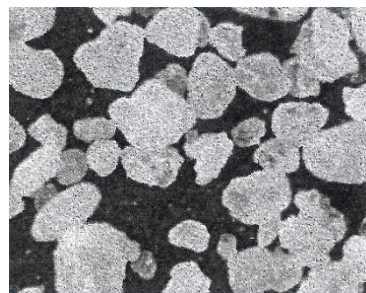
Písky z oblasti *Šajdíkovy Humence ŠH* (Š22 ŠH, Š27 OTŠH, Š35 ŠH, Š50 ŠH) jsou vysoce kulaté s minimálním obsahem vyplavitelných látek. Hlavní složkou podílů je kaolinit a křemen. Písky jsou dosti pravidelné (strmá součtová křivka zrnitosti). Zrna jsou hladká. Obsah Fe_2O_3 je vázán převážně na minerály (0,09% Fe_2O_3). Vzhledem k vysokému obsahu živců (8 - 10%) písek není vhodný pro slévárny oceli. Ložisko

se nachází při dolním toku Moravy a Myjavy (na velké rozloze a vytvářejí duny a přesypy o mocnosti 6 – 30 m). Vyznačuje se malým obsahem jílového pojiva (0,2 - 1,8%). Zrna jsou transportem obroušena, koeficient hranatosti je v rozmezí 1,06 – 1,1. Je to nejpoužívanější písek ve slévárnách šedé litiny v ČR (těžený na Slovensku) ve vazbě s bentonitovými pojivy, ale především s organickými pojivy – pryskyřicemi.

Písek z lokality *Strážnice* má oproti pískům ŠH vyšší odplavitelnost a je méně chemicky čistý. Hlavní složkou podílů pod 0,063 mm je křemen, kalcit, montmorillonit a slídové minerály. Obsahuje vyšší koncentraci živců a horninových úlomků, proto má vyšší nasákavost než Střeleč, Provodín a ŠH. Charakteristická je vysoká koncentrace Fe_2O_3 . Odstraněním podílů Fe_2O_3 , který je uložen na povrchu zrn (0,308%) se zvýší pevnost směsi. Zrna písku Strážnice jsou dobře opracována s hladkým povrchem.

Písek *Kluk (Mostkový les)* má kulaté, hladké křemenné zrna, které je zbarveno žlutavě železitými sloučeninami. Železo je převážně vázáno na limonitové tmely a povlaky zrn, méně již na těžké minerály. Obsah živců má přibližně stejně jako Strážnice. Oproti písku Strážnice má Kluk vyšší obsah vyplavitelných látek, ale menší množství limonitového Fe. Obsahuje rovněž montmorillonit.

Odpadní písky po plavení kaolinu z lokality *Hlubany* dodají směsi s organickými pojivy velmi nízkou pevnost, i když mají kulaté zrna (obr. 4-3). Obsahují asi 10% zrn rozložených živců, které se vyznačují mléčně bílou barvou a nižší tvrdostí oproti zrnům křemene. Tato zrna jsou velmi porézní a jejich porezita zvyšuje nasákavost písků. Mají vysoký obsah vyplavitelných podílů (zbytky kaolinu). Písky jsou méně vhodné pro organická pojiva (metody Hot-Box, Cold-Box), ale ve směsích skořepinových a furanových je s těmito písky dosahováno velmi dobrých výsledků, protože netvoří výronky a pomerančovou kůru), i když spotřeba se zvyšuje.



Obr. 4-3 Křemenný písek lokality Hlubany [1].

Písek *Kaznějov* je odpadní písek s vysokou hodnotou vyplavitelných podílů (křemen a kaolinit). Písek má ostrohranná zrna, je velmi porézní (v pórech jsou uloženy zbytky kaolinu). Tato porezita zvyšuje nasákavost písku a s organickými pojivy dodává ještě horší výsledky, nežli písek Hlubany.

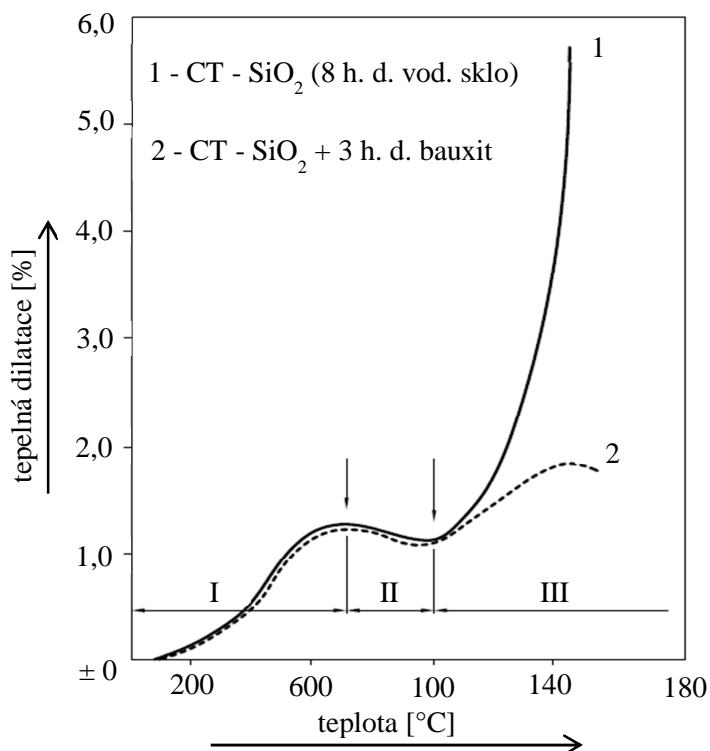
Další lokality vátých písků jako *Čejč*, *Šaštín*, *Lozorno*, atp. nejsou svým významem tolik podstatné. Rovněž tak *Adršpašský písek* (hrubozrnný písek $d_{50} = 0,38 - 0,5$ mm) vhodný pro masivní hutní ocelové odlitky, *Kobylisy* (u Prahy) – přirozený písek pro masivní litinové odlitky (kokily, válce), pak písky ledovcového původu, např. na Ostravsku v oblasti *Bohumína* a *Skřečoně* [1].

Mezi **hlavní nevýhody křemenných písků** se řadí **zvýšená reaktivnost** za zvýšených teplot s oxidy Fe a jiných kovů (legur ocelí). Křemen je kyselá sloučenina a reaguje se zásaditými látkami za vzniku sloučenin, které mají nižší žáruvzdornost. Např. reakcí SiO_2 a FeO se tvoří fayalit (při použití penetrace kovu ve slévárenské formě vznikají zapečeniny - okolo 1195°C).



Přistoupením MnO do reakce se teplota dále snižuje. Proto se u legovaných ocelí a masivních ocelových odlitků používají bazická ostřiva s vyšší žáruvzdorností.

Křemen má **neplynulou (diskontinuální)** a **vyšší tepelnou dilataci** oproti např. olivínu, zirkonu a dal. Diskontinualita dilatační křivky je způsobena změnami SiO_2 .



Obr. 4-4 Dilatační křivka směsí s vodním sklem a křemenným ostřivem s přísadou bauxitu [1].

Dilatační křivka na obrázku 4-4 se skládá ze tří etap. *První etapa* je diskontinuální, „rychlá“, vratná změna dilatace směsi do 700°C. Změny v krystalické mřížce jsou malé. Podle druhu křemenného písku dosahuje lineární nárůst směsi 0,86 až 1,3%, t.j. 2,58 – 3,9%-ní zvětšení objemu.

Druhá etapa se nachází nad hranicí 700°C, kde dochází k mírnému smrštění směsi díky zápornému koeficientu tepelné dilatace α – SiO₂ a také vznikem křemičitanových tavenin (skel z pojivového systému, kde dochází k poklesu pevnosti).

Třetí etapa je při hranicích teplot 900 – 1000°C, kde dochází k „pomalým přeměnám“ – k trvalému expanznímu růstu směsi, který při 1400°C dosahuje již 5% lineární dilatace (cca 15% objemové).

Důsledkem zvýšeného tepelného napětí v lící části slévárenské formy je celá řada slévárenských vad povrchu odlitků. Patří mezi ně zálupy, výronky, zadrobeniny i nárůsty.

Neúčinnější postup zamezení těchto vad z napětí je výměna křemenného ostřiva za ostřivo s plynulou křivkou s nižší hodnotou tepelné dilatace (napětí), bez modifikačních změn. Zdrojem značných rozměrových nepřesností odlitků je i vratná změna dilatace v I. etapě dilatační křivky.

Cristobalitická expanze za přítomnosti mineralizátorů a vysokých teplot, kde vznik cristobalitu je příčinou trvalého expanzního růstu směsí s vodním sklem (nad 900°C). Křemen se při ohřevu mění v α – cristobalit. Je-li křemen chemicky čistý, hrubě krystalický a má málo defektní mřížku, tak dochází k tzv. „pozvolným přeměnám“, dochází ke změnám krystalové mřížky (hexagonální → krychlová).

Ze studia kinetiky modifikačních přeměn vyplývá, že přítomnost tekuté fáze podstatně aktivuje proces cristobalitizace. Když mineralizátor tvoří tekutou fázi, pak je jeho působení mnohem aktivnější, protože se zvyšuje povrch styku se zrny křemene.

Některé oxidy (např. Al₂O₃) brzdí přeměny křemene a brzdí i účinek přítomných mineralizátorů. Bez mineralizátorů tedy probíhá proces velmi pomalu a vzniká cristobalit s vysoce defektní strukturou.

Vedle katalyzátorů má na rychlost přeměny vliv i zrnitost křemene. Jsou-li zrna malá, probíhá cristobalitizace velmi rychle. U hrubších zrn (běžných ostřiv) probíhá přeměna ve dvou fázích. V první fázi vznikají na povrchu zárodky cristobalitu a v druhé fázi cristobalitizace probíhá do hloubky zrn. Rychlost procesu první fáze probíhá pomaleji než ve fázi druhé.

Po odlití tekutého kovu do dutiny formy začíná tuhnout kov na povrchu jádra, které se však intenzivně prohřívá. Přesáhne-li teplota 900 °C, začíná cristobalitická expanze v jádře, ale ta se může rozvíjet pouze v závislosti na dalším pochodu tuhnutí odlitku směrem od jádra. Pomocí proměřování teplotního pole jader se zjistilo, že teplota jádra může přestoupit teplotu tuhnutí téměř ztuhlé prvotní kůrky odlitku, která se může znovu roztavit a umožnit další průběh expanze až do doby, než znovu kůrka natuhne (periodické tuhnutí) a má již takovou pevnost, že jádro nemůže dále narůstat, i když stále ještě postupuje cristobalitická expanze v objemu jádra. Expanze má pak pouze za následek růst napětí v jádře. Teplota jádra zůstává po dlouhou dobu nejvyšší z celého souboru odlitku a jádra (nižší tepelná vodivost směsi než kovu). Proto se tepelným centrem celého odlitku stává jádro.

Mezi *důsledky cristobalitické expanze křemenných ostřiv* se řadí zapečeniny, které u ocelových odlitků obsahují cristobalit. Expandující jádro trhá vrstvu povrchové ochrany (nástřiky, nátěry).

Rozpadavost a schopnost odstranění pravých jader nepříznivě ovlivňuje vysoká rychlost začínajícího tuhnutí kovu na povrchu jádra, kde nedochází k odtavení kůry (cyklickému natuhávání u jader s nižším tepelným namáháním) a projevuje se cristobalitická expanze růstem zbytkového napětí.

Nemůžeme zaručit rozměrovou i tvarovou přesnost odlitků při vyšším tepelném namáhání forem a hlavně jader, vyrobených z čistých křemenných ostřiv za přítomnosti mineralizátorů.

Cristobalit je biologicky velmi aktivní modifikací SiO_2 a proto je stále více dnes dáván do souvislosti se vznikem silikosy.

Silikosa je vážná plicní choroba, vznikající ze zaprášených plic křemenným prachem, kde kritický rozsah je okolo 0,5 – 5 μm . Zvýšenou koncentraci cristobalitu můžeme pozorovat u všech typů forem ocelových odlitků (bentonitové formy, Hot-Box, směsi s vodním sklem apod.). Rovněž v místech zapečenin ocelových odlitků se nachází 5 i více % cristobalitu.

Je velmi pravděpodobné, že vedle velikosti částic SiO_2 je i obsah cristobalitu, díky jeho agresivitě, rozhodujícím činitelem vzniku této časté plicní nemoci slévačů. Postižení pracovníci jsou sice přeřazováni z kvalifikované, ale rizikové práce. Bohužel nemoc přesto postupuje. Léčit zatím silikosu neumíme, proto je nutná prevence.

Onemocnění můžeme předejít používáním přísad do formovacích směsí (např. γ – Al_2O_3 , suš. bauxit) a tak oddálit cristobalitizaci do vysokých teplot nebo aerosolové inhalace polyvinylpyridin – N-oxidu (očkování uvedeným preparátem). Toto by mohl být způsob k odbourávání vazivových struktur [1].

4.2. Ostřiva zásaditého charakteru

Magnezit je zásadité ostřivo vyráběné z horniny zvané magnezit, která obsahuje vedle čistého minerálu ještě vápenaté, křemičité a železité sloučeniny. Čistý magnezit je uhličitán hořečnatý MgCO_3 , barvy hnědé až bělošedé, dokonale štěpný, dle Mohsovy stupnice o tvrdosti 4 a hustoty $2900 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$. Jeho vznik je dán působením roztoků obsahujících hydrogenuhlíčan hořečnatý na vápence a dolomity.

Surový magnezit musí být pálením nejprve zbaven CO_2 a převeden na oxid hořečnatý MgO , krystalizující jako minerál periklas. Tento oxid má podobnou vlastnost jako vápno – pohlcuje na vzduchu vodu a hydratuje. Proto se pálí do slinutí, což umožňují příměsi železitých oxidů při teplotách nad 1400°C . Tím se získává tzv. slinutý magnezit, čokoládově hnědé barvy, který obsahuje více než 85% MgO , který je nositelem žáruvzdornosti. Po ukončení vypalování při $800 - 950^\circ\text{C}$, vzniká oduhličený (kaustický) magnezit. Příměsi v surovině mají značný vliv na jakost magnezitu po vypálení a slinutí. Fe_2O_3 má být nejvýše 5%, SiO_2 a CaO max. 6%. Magnezit je vždy doprovázen vápencem a dolomitem.

Čistý oxid hořečnatý má žáruvzdornost 2800°C a magnezitové výrobky až nad 2000°C . Používá se pro vyzdívání tavicích pecí a je velmi odolný proti vlivu zásaditých strusek. Jemně mletý magnezit se může použít jako plnivo v barvivech slévárenských forem [2].

Je vhodný především pro těžké ocelové odlitky. Magnezit vytlačil v 70. letech tradiční šamotové směsi pro vysokou odolnost proti zálupům a zapékání. Je výhodnější i než velmi drahé zirkonové směsi.

Nevýhodou je nemožnost u magnezitového ostřiva použít umělé pryskyřice tvrditelné kyselými katalyzátory (furany). Nejčastěji se používá jako pojivo vodní sklo [1].

Chromit je tuhý roztok chromitu $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, picrochromitu $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ (magnesiochromit) a spinelu $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Podle obsahu chromu jsou chromity členěny na chromity s vysokým obsahem chromu tzv. chemické chromity a chromity s nízkým obsahem chromu. Chromity s vyšším obsahem hliníku na tzv. chromity keramické (metalurgické), které jsou využívány pro slévárenské účely.

Chromitové ostřívo má obsahovat minimálně 45 – 48% Cr_2O_3 a max. 12% Fe. Zvláštní pozornost je věnována SiO_2 a to ve formě volného křemene nebo silikátů. K nim patří serpentín, olivín a enstatit. Pro masivní ocelové odlitky by celkový obsah SiO_2 neměl přesáhnout 2 – 2,5%.

Chromitová primární zrna mají polyedrický tvar, jsou hladká, černá až grafitová (obr. 4-5). Zrna se začínají tavit při 1650°C , bod sintrace (slinování) se pohybuje mezi $1350 - 1450^\circ\text{C}$.

Chromitový písek se získává těžbou chromitové rudy, následně se třídí podle zrnitosti a odprašuje. Hlavní naleziště jsou ve Rhodesii, Rusku, Turecku, Jihoafrické unii a Filipínách, v Evropě ve Finsku a Řecku. Ve slévárnách se používá nejčastěji Jihoafrický chromit (Transavaal).

Je rozšířen ve slévárnách ocelových odlitků k zabránění penetrace z uhlíkových i legovaných manganových ocelí v kombinaci s furanovými a fenolickými pojivy. Vlivem tepelné expozice a oxidačního nebo redukčního prostředí formy (jádra) dochází k zásadním mineralogickým změnám chromitového ostříva, což může vést až ke zvýšenému sklonu regenerovaných ostřív k penetraci [1].



Obr. 4-5 Chromitové ostřívo [10].

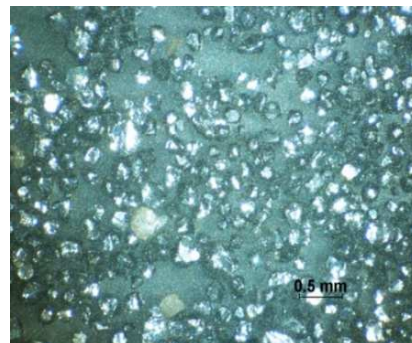
Používá se pro přípravu směsí pojených vodním sklem (špatná rozpadavost, vysoká žáruvzdornost), jádrových nebo obkládových směsí s fenolrezolickým pojivem (dobrá rozpadavost, jakostnější povrchy odlitků než při použití směsí s vodním sklem). Od roku 1998 se používá i směs pojená kombinací vodního sklo-esteru - tzv. ST směsi vhodné pro výrobu forem a jader (rozpadavost pro většinu vyráběného sortimentu odlitků je dostačující, povrchy odlitků jsou jakostní). Formovací a jádrové směsi s chromitem se používají také na ochlazování tepelných uzlů, neboť umožňují

intenzivní odvod tepla. Tento způsob je nevýhodný při odlévání odlitků z Mn ocelí, kde bylo dříve toto ostřivo také používáno. Nevýhodou je vysoká cena ostřiva [10].

Chrommagnezit

Magnezitové výrobky mají malou odolnost proti náhlým změnám teploty. Snížení citlivosti magnezitu lze dosáhnout přísadou chromové rudy. Chrommagnezit na obr. 4-6 je tedy směsí slinutého magnezitu chudého na CaO a kvalitní chromové rudy. Chromová ruda obsahuje více než 80% minerálu zvaného chromit. Při pálení chrommagnezitu probíhají velmi složité fyzikálněchemické děje a vznikají četné sloučeniny. Vypálení je při teplotách 1500 až 1600°C.

Největší odolnost vůči změnám teploty mají hmoty ze směsi 65% slinutého magnezitu a 35% chromitu. Tato směs se používá pro výrobky, které jsou určeny pro klenby SM pecí tzv. „černé klenby“. Chrommagnezit se používá jako velmi kvalitní ostřivo pro odlévání speciálně legovaných ocelí [2].



Obr. 4-6 Chrommagnezitové ostřivo.

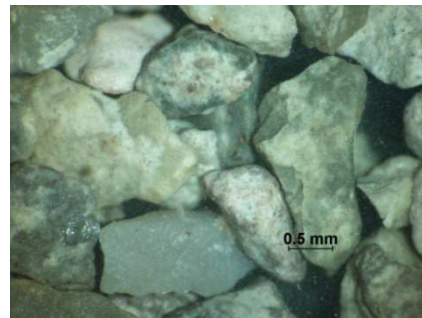
4.3. Ostřiva neutrálního charakteru

Šamot je vypálený žáruvzdorný jíl, který obsahuje minimálně 30% Al_2O_3 (kaolín). Při použití plavených kaolínů dosahuje obsah oxidu hlinitého až 45%. Další složka této žáruvzdorné hmoty je SiO_2 . Všechny ostatní oxidy jsou znečišťujícími příměsmi. Jejich obsah a složení závisí na čistotě výchozí suroviny. Změnám poměru SiO_2 k Al_2O_3 odpovídají změny fázového složení, které v konečném výsledku předurčují žáruvzdorné vlastnosti této hmoty [2].

Proces vypalování žáruvzdorných břídlíkatých jílu (lupků) se uskutečňuje v rotačních pecích. Při teplotách nad 1100°C získáváme pálený lupek, který se nazývá šamotový lupek, který je na obr. 4-7. Jde o přeměnu kaolinitického jílu na vysoce žáruvzdornou formu aluminosilikátu (mullit). Mletím a tříděním (maximální velikost zrn 3 - 5 mm) získáváme ostrohranné umělé ostřivo, které má plynulou dilatační křivku (vysoce odolné proti zálupům) [1].

Měrná hmotnost lupkového ostřiva je $2300 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$, sypná hmotnost $1500 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ a teplota spékání 1730°C [10].

Největším producentem pálených lupků pro slévárenské účely jsou České lupkové a uhelné závody – Nové Strašecí.



Obr. 4-7 Lupek.

S rostoucím obsahem Al_2O_3 , přesněji s klesajícím poměrem $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ roste žáruvzdornost šamotů a rozdělujeme je na nízkožáruvzdorný (1670°C), středně žáruvzdorný (až 1730°C) a vysokožáruvzdorný (nad 1730°C).

Pro slévárenské použití je důležitá jakost šamotu, určená jeho hutností. Tu vyjadřuje poměr objemové hmotnosti a hustoty, která je úměrná nasákavosti šamotové hmoty vyjádřené v procentech (vysoce pórovitý (25%), pórovitý (2 - 8%), hutný (2 - 2,5%), slinitý (0,1 - 2%), tavený (0,1%)) [2].

Pro slévárenské účely se používají více spékavé jíly, kde nejsou tak vysoké požadavky na žáruvzdornost, ale více na hutnost (s nasákavostí pod 3%).

Jsou vhodné pro pojení kaolinitickými pojivy (šamotové směsi), vodním sklem (vytvrzované CO_2) a organickými pojivy (fenolické a alkydové pryskyřice) [1].

Používají se především pro výrobu jader, vždy v kombinaci s křemenným ostřivem. Kombinace ostřiv je z důvodu zrnitosti lupkového ostřiva (široké rozmezí s vysokým obsahem prachových částic), kde by bylo nemožné udržet spotřebu pojiva při použití pouze lupkového ostřiva na provozně schůdné úrovni (spotřeba by byla příliš vysoká – z toho plynou problémy s rozpadavostí a vlhkostí jádrové směsi).

Druhým důvodem je rozdíl v lineární tepelné roztažnosti obou ostřiv, kdy se lupkové ostřivo na rozdíl od křemenného při ohřevu smršťuje o 0,50% při 1400°C . Výsledkem jsou velmi nízké zbytkové pevnosti. Po odlití dochází vlivem objemových změn ostřiv k destrukci pojivových můstků mezi zrny [10].

V kombinaci se žáruvzdorným jílem jako pojivem je šamotové ostřivo vhodné pro výrobu forem těžkých ocelových odlitků nebo těžkých odlitků z šedé litiny. Do formovací směsi volíme šamot běžné jakosti středně žáruvzdorný, drcený na zrno o průměru 3 – 5 mm. Rozdělení zrnitosti se dělí tak, aby součtová křivka obsahovala všechny velikosti částic. Šamotové ostřivo neprochází při ohřevu tekutým kovem polymorfními přeměnami a formovací směs není náchylná k tvorbě zálpů [2].

Sillimanit, Mullit

Se stoupajícím obsahem Al_2O_3 od eutektického bodu 8% Al_2O_3 binární soustavy SiO_2 - Al_2O_3 vzrůstá také u směsi teplota tání. Při obsahu 62,9% Al_2O_3 vzniká sillimanit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) – bezvodý křemičitan hlinitý, který přechází v mullit s teoretickým obsahem 71,8% Al_2O_3 . Převaha Al_2O_3 se projevuje i ve vzorci mullitu ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$).

Sillimanit se dováží z Indie nebo se vyrábí uměle. Umělý sillimanit vzniká pálením plaveného kaolínu, ke kterému se přidává umělý Al_2O_3 . Rozpadem sillimanitu při vysokých teplotách vzniká mullit. Vyrábí se uměle podobně jako sillimanit, vazba se více obohacuje oxidem hlinitým, jak to vyhovuje vzájemnému poměru obou oxidů. Do směsi se přidávají mineralizátory, které umožňují vznik krystalů mullitu již při nižších teplotách (1450°C).

Sillimanitové a především mullitové ostřívo se vyznačuje vysokou žáruvzdorností, znamenitou odolností proti náhlým změnám teploty a velkou chemickou stálostí. Jejich použití je především ve formovacích směsích přesného lití na vytavitelný model [2].

Makroskopické ukázky sillimanitu se v Česku vyskytují například na slavném nalezišti chrysoberylu v Maršíkově v Jeseníkách severovýchodně od Šumperka [14].

Korund se v přírodě nachází jako minerál safír a korund (obr. 4-8), nečisté druhy jsou známé pod názvem smirek.

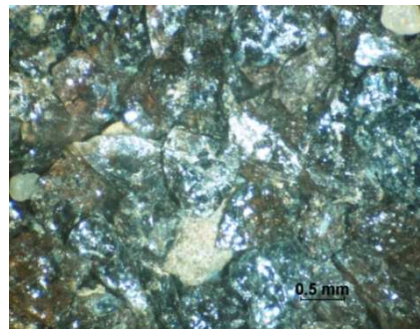
Ve slévárenství se využívá umělé ostřívo – elektrokorund (Al_2O_3). Teoreticky obsahuje 52,91% Al. Podle druhu modifikace je měrná hmotnost mezi 3300 - 4000 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]. Bod tavení je 2050°C a tvrdost 9.

Al_2O_3 je polymorfním oxidem. Má celkem čtyři modifikace (α , β , γ , ξ). Ale modifikace typu β a ξ nejsou zcela potvrzeny a názory na jejich existenci se různí [1].

Průmyslově se vyrábí tavením bauxitu nebo čistých jílu bohatých na Al_2O_3 a to pálením na 1450°C, kdy přechází γ - Al_2O_3 zcela na α - Al_2O_3 a zároveň vznikají jednotlivé krystaly korundu. Přidáním 1 - 2% TiO_2 se urychlí tento proces, který tvoří s korundem tuhé roztoky a zvětšuje růst krystalů korundu [2].

α - Al_2O_3 (alfa-korund) krystalizuje v šesterečné soustavě a patří k vysokoteplotním modifikacím Al_2O_3 , které vznikají z modifikace γ nad 1000°C. Je monotropně stálý, nerozpustný v kyselinách, s měrnou hmotností 3900 – 4000 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

γ - Al_2O_3 (gama-korund) krystalizuje v soustavě s kubickou mřížkou a vzniká ohřevem hydroxidu do 1000°C . Při vyšších teplotách přechází v modifikaci α . Má měrnou hmotnost $3600 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ a v kyselinách je lehce rozpustný. Na rozdíl od modifikace α má modifikace γ velkou absorpční schopnost k některým druhům organických barviv (alizarin, karmín, metylénová modř atd.).



Obr. 4-8 Korundové ostřívo.

Nejpoužívanějším ostřivem je elektrokorund (α - Al_2O_3), který je vysoce netečný k oxidům Fe a stálý. Často je používán i lacinější druh korundu kalcinovaný Al_2O_3 , který představuje směs α a γ modifikace. Ta se vlivem přechodu z γ na α značně smršťuje.

Elektrokorund využíváme jako ostřívo pro přípravu směsí s jíly, vodním sklem i organickými pojivy pro speciální účely. Jeho vysoká cena odrazuje od dalšího rozšíření.

Mnohem rozšířenější je jeho uplatnění jako plniva v nátěrech a mazacích prostředcích pro ocelové odlitky a namáhaná jádra. Z důvodu jeho vysoké tvrdosti se musí u plniv sledovat obsah kovového Fe, které se tam dostává otěrem z drtičů. Nesmí překročit 0,5% (penetrace). Proto se korund chemicky nebo magneticky čistí [1].

Spinely

Ke vzniku spinelů je dobré vědět, že Al_2O_3 je amorfni (k zásadám se chová jako kyselina a ke kyselinám jako zásada). S kyselinou křemičitou dává dohromady hlinité křemičitany, řada těchto sloučenin začíná šamotem a končí mullitem. Vůči zásaditým oxidům se Al_2O_3 chová jako kyselina a tvoří s nimi hlinitany. Takovým hlinitanem je právě hlinitan hořečnatý $\text{Mg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{SPINEL}$. Minerály spinelové řady se užívají jako součásti jiných žáruvzdorných hmot, které po rozemletí mohou sloužit jako ostřívo formovacích směsí pro těžké odlitky nebo pro nátěry forem. Při vysoké žáruvzdornosti mají nízkou spékavost (kolem 1450°C). Při styku s tekutým kovem vytvářejí kůru na povrchu formy a zabraňují penetraci [2].

Olivín je přechodnou formou křemičitanu hořečnatého a při pálení přechází v konečný minerál forsterit. Je to izomorfní směs forsteritu a fayalitu [2].

Kromě forsteritu Mg_2SiO_4 (93%), který má bod tavení na 1900°C a fayalitu Fe_2SiO_4 (6%) s bodem tavení na 1205°C obsahuje doprovodné minerály jako serpentín, chromit, spinel, magnetit a další. Tento minerál sopečného původu je neutrální až slabě zásadité povahy. Olivín (obr. 4-9) je zelené barvy, měrné hmotnosti $3200 - 3600 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$, tvrdosti 7 a má teplotu tavení okolo 1870°C závislou na poměru forsterit / fayalit. V přítomnosti křemenného písku se teplota tavení podstatně snižuje. Teplota slinování olivínového písku je okolo 1410°C .

Zvláštní pozornost je třeba věnovat stanovení množství plynů a par, které u olivínového písku vznikají termickým rozkladem sekundárních minerálů. Jejich množství je vyšší než u křemenných písků, což může mít rozhodně vliv na sklon k bublinatosti odlitků.



Obr. 4-9 Olivínové ostřívo [10].

Výhoda olivínového písku je téměř lineární křivka dilatace, nižší než u SiO_2 . Pevná fixace SiO_2 ve struktuře fayalitu a forsteritu způsobuje zásaditou reakci za vysokých teplot a pak nereaguje s MnO a dalšími zásaditými kysličníky. Je proto velmi vhodným ostřivem pro přípravu směsí k lití speciálních odlitků z 12% austenitických manganových ocelí, kde může nahradit magnezit a chrommagnezit. Nahradit křemenný písek olivínem znamená vyhnout se silikose [1].

Olivínový formovací písek je vhodný pro výrobu tepelně silně namáhaných jader a forem. Pomůže odstranit výskyt zapečenin a dalších vad způsobených nízkou tepelnou odolností křemičitého ostřiva. Je určitým mezistupněm mezi křemičitým a chromitovým pískem. Při srovnání ceny s cenou chromitu je nutno si uvědomit, že olivín má vzhledem k nižší váze větší objem [15].

Je možno jej použít v různých pojivových systémech, např. jíly, oleji, cementy, vodním sklem (CO_2 – proces samovolně tuhnoucí směsi sytké i zpěněné). Je rozšířen po celém světě. Značná naleziště jsou v Aaheim (Norsko) a Rusku. V 70. letech bylo ve Skandinávii 60% všech forem vyrobeno z olivínové směsi [1].

Zirkon, minerál $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ krystalizuje ve čtverečné soustavě, je hnědočervený (obr. 4-10), hustoty $4600 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$, tvrdosti podle Mohsovy stupnice 7,5. Je to velmi stálý minerál s dobrou žáruvzdorností a proti působení zásaditých i kyselých tavenin. Běžně obsahuje stopy hafnia, thoria nebo uranu. Taví se při 2550°C .

Vedle křemičitanu zirkoničitého se vyskytuje v přírodě oxid zirkoničitý ZrO_2 (minerál baddeleyit). Má podobně jako SiO_2 několik krystalických modifikací, teplota tání je 2680°C . Za přítomnosti stabilizátorů MgO nebo CaO se stává ZrO_2 objemově stálým již při teplotě 1700°C . Kvalita zirkonových písků roste s koncentrací ZrO_2 [2].



Obr. 4-10 Zirkonové ostřívo [10].

Ve srovnání s křemennými písky skýtají zirkonové písky řadu předností: lineární tepelná dilatace je několikrát nižší než u ostatních běžných ostřiv, vysoká tepelná vodivost a vysoká měrná hmotnost dávají vysokou hodnotu tepelné akumulace (dobrý ochlazovací účinek). Mezi další přednosti patří i vysoká chemická netečnost vůči oxidům Fe za vysokých teplot (odolnost proti penetraci a zapékání).

SiO_2 je v zirkonových píscích dobře vázán, proto nehrozí vznik silikosy. Zirkonové ostřiva snesou jakoukoliv pojivovou soustavu.

Díky vyšší odolnosti proti zapékání a penetraci jsou hodně používány pro masivní odlitky nebo k výrobě vysoce tepelně namáhaných jader. Nevýhodou je vysoká cena zirkoniových písků a jejich nedostatek na trhu, proto jsou nahrazovány chromitem. V našich podmínkách jsou z důvodu vysoké ceny využívány jen pro speciální formovací směsi. Nelze je použít pro Mn ocele z důvodu kyselé reakce.

Největší naleziště zirkonových písků jsou v Austrálii, Brazílii, Senegalu, Cejlonu a na Ukrajině. Křemičitan zirkoničitý (zirkonový písek) je spoluproduktem při těžbě TiO_2 v pobřežních nalezištích na Floridě (USA) s obsahem zirkonu 1,5%, v Austrálii s obsahem zirkonu 15%. Zpracování probíhá v následujících operacích: flotace (oddělení SiO_2 a jiných lehkých materiálů), elektrostatické odstranění vodivých částic a elektromagnetická separace. Ve spirálových separátorech se odstraní Ti . Většina doprovodných nečistot je rozpustná v horké kyselině sírové [1].

Zirkonové ostřívo se vyznačuje zakulacenými až kulovitými zrny s hladkým povrchem. Používá se ve směsích s křemenným ostřivem (50 hm. d. : 50 hm. d.) jako

vodní sklo vytvrzované CO_2 s relativně nízkými zbytkovými pevnostmi, fenolrezolickými pojivy s výbornou rozpadavostí nebo jako čistě zirkonové ostřívo s fenolrezolickým pojivem s velmi hladkým povrchem bez nutnosti nátěru [10].

Častěji se s ním lze setkat ve formě plniv různých typů slévárenských nátěrů a námrazků [1].

4.4. Speciální a umělá ostřiva

Grafit a uhlíková ostřiva se používají pro svou nízkou teplotní délkovou roztažnost, mají vysokou korozní a chemickou stálost, vysoký součinitel tepelné vodivosti (3x větší než u křemenného písku), malé opotřebení kovem a struskou. Z hlediska technologického se doporučuje přírodní vločkový grafit, bez jiných přídavných materiálů, zajišťující dostatečnou prodyšnost forem. Nejlevnější surovinou pro výrobu grafitového ostřiva jsou drcené a mleté grafitové kelímky. Formy při lití je nutno chránit před stykem se vzduchem nad teplotou oxidačního bodu (451°C), jinak dochází k vyhořívání grafitu. Odlitky z grafitových ostřiv jsou velmi přesné s čistým a hladkým povrchem [2].

Kovová ostřiva

Pro výrobu kovových nebo polokovových směsí (s přísadou křemenného písku nebo jiného ostřiva) se dříve používaly ocelové nebo litinové broky, které se získávaly tříděním z odpadu slévárenských tryskáčů. Tyto směsi pro svoji vysokou tepelnou akumulaci nacházely uplatnění při výrobě tvarových vnějších chladítek. Jako pojiva byly použity umělé pryskyřice nebo vodní sklo (CO_2 - proces).

V 60. letech byla realizována myšlenka Wittmosera a Hofmana, kteří navrhli vázání kovových kuliček (zrn ostřiva) silami elektromagnetického pole. Ostřívo tvoří zmagnetizovatelný materiál o zrnitosti 0,1 – 0,5 mm.

Model z pěnového polystyrénu se zaformuje jemnozrnným magnetizovatelným materiálem, na který působí elektromagnetické pole před litím a během lití, až do ztuhnutí vlitého kovu. Kov lijeme na model, který zplyňuje (metoda plné formy). Je však nutno mít na zřeteli existenci Curieho bodu (teplotu, při které se ztrácejí feromagnetické vlastnosti litého kovu). Proto autoři navrhli jehlicovitý tvar ostřiva. Jehlice se orientují ve směru siločar magnetického pole na povrchu modelu. Jakmile je forma naplněna tekutým kovem, přehřívají se nejprve špičky jehlic, které jsou

ve styku s kovem. Než se prohřeje celá jehlice na Curieho bod, má již odlitek dostatečně silnou kůru, takže nedojde k porušení tvaru odlitku.

Mezi výhody tohoto ostřiva patří vysoká dobře regulovatelná prodyšnost (jednosložková směs bez pojiva), dokonale reversibilní použití směsi (bez regenerace), výroba i vytloukání bez mechanických sil, nízké náklady na čištění odlitků, malé požadavky na plochu skladů písků, značné snížení kouře a prachu, vyloučení silikosy. Nevýhodou kovových ostřiv je použití jen v hromadné výrobě, značné omezení hmotnosti a rozměrů odlitků a nutnost použití drahých nátěrů na jednorázové modely [1], [2].

Serpentin je speciální ostřivo, které obsahuje MgO (30 - 45%), SiO_2 (30 - 50%), $\text{FeO} + \text{Fe}_3\text{O}_4$ (7 - 13%). Žíhaný serpentín je používán pro formy a jádra austenitických ocelí s magnezitovým nátěrem. Žíhaný (kalcinovaný) serpentín slouží jako náhrada olivínových písků [1].

Dunitové ostřivo Magnolith je speciální slévárenské ostřivo, připravované sintrováním dunitu při teplotách 1500 - 1600°C. Dunit je mineralogicky podobnou surovinou jako olivín.

Proti olivínu se chemické složení liší v tom, že Magnolith obsahuje CaO a Fe_2O_3 (olivín tyto kysličníky neobsahuje), ale obsah Al_2O_3 je v olivínu cca 10x vyšší [1].

Vyznačuje se zrny s nepravidelným tvarem a drsným, porézním povrchem (obr. 4-11). Toto ostřivo se výborně hodí pro odlévání Mn ocelí, má také bazickou reakci v žáru jako olivínové ostřivo a je použitelné také pro odlévání litin s kuličkovým i lupínkovým grafitem. Dunitové ostřivo Magnolith dovoluje vyrábět odlitky z Mn ocelí s velmi jakostním povrchem a má velmi dobrou rozpadavost jako CT směs (tj. směs pojená vodním sklem a bentonitem vytvrzená samovolným osycháním), ale také jako ST směs (vodní sklo a esterové tvrdidlo). Proto je v praxi odlitek po vytlučení z formy natolik zbaven ulpělé formovací směsi, že často může být odstraňována vtoková soustava a nálitky bez předchozího otryskání odlitku broky nebo vodou (menší odlitky jednodušších tvarů a menších hmotností).



Obr. 4-11 Dunitové ostřivo Magnolith [10].

Ve srovnání s chrommagnezitem a chromitem, které byly dříve používány pro výrobu odlitků z Mn ocelí, velmi výrazně pokleslo množství připečenin, trhlin a na dlouhých odlitcích také množství zavalenin (dunitové ostřívo odvádí méně tepla a tekutý kov lépe zabíhá do dutiny formy).

Ve srovnání s olivínem a chromitem mají směsi s dunitovým ostřivem velmi dobrou rozpadavost, tím se snižují časy potřebné pro cídírenské operace a opravy odlitků o 30 - 50%. Spotřeba pojiv (vodního skla a bentonitu) je oproti křemenným pískům kvůli vyššímu podílu prachových podílů a porozitě zrn dunitu o 50% vyšší.

Při přípravě CT a bentonitových směsí je vhodné přidat do ostřiva před přidáním pojiva část celkového množství vody. Voda nasákne do pórů ostřiva a uspoří tak část pojiva. Díky vyšší spotřebě pojiva a díky chemickému charakteru je toto ostřívo méně vhodné pro organická pojiva (zejména pro pojiva vytvrzovaná kyselým tvrdidlem). Namísená CT a ST směs se zdá velmi suchá, avšak je to jen zdání, ve skutečnosti je vlhkost vyšší než u bentonitové formovací směsi. Vady typu bublina a odvařenina na odlitcích se nevyskytují a ani se směs nelepí na modely a jaderníky [10].

Malochit je žáruvzdorný aluminosilikát, který se vyrábí ze speciálních jílu vysokoteplotním žíháním. Z mineralogického složení se jedná o mullit 55% a amorfní křemennou fázi 45%. Do 1000°C má lineární tvar teplotní dilatační křivky, žáruvzdornost 1770°C a tvrdost dle Mohsovy stupnice 7 - 8.

S tímto ostřivem se lze setkat především u forem pro přesné lití [1].

Speciální keramické ostřívo je připravováno tavením při 1650°C 84% mullitu, 2% korundu a 14% skelného pojiva. Umělé ostřívo má vysokou žáruvzdornost (1825°C), tvar má téměř ideálních kuliček, nízkou tepelnou dilataci.

Používá se v japonských slévárnách. Pojí se bentonitem, vodním sklem i pryskyřicí [1].

Dále jsou popsány některé typy umělých ostřiv, které mají své obchodní názvy určené výrobcem.

J-Sand je relativně levný speciální písek firmy Hüttenes-Albertus (HA), který je na obr. 4-12. Z mineralogického hlediska se skládá z křemičitanů a živců, má neutrální chemický charakter.

Používá se pro jádra olejových kanálů, vodních plášťů a klikových skříní v Cold Boxu ke snížení vad tepelné roztažnosti písku v případech, kdy organická pojiva vedou k plynovým vadám.

Dalším případem použití jsou výfuková potrubí z vysokolegovaných druhů litiny. Efektu pro zamezení vad tepelné roztažnosti ostřiva se dosahuje relativně rychlým měknutím složek písku, takže s tím spojená nízká tepelná stabilita může vést k problémům. V současné době se v Německu používá cca 12000 t/rok [11].



Obr. 4-12 Ostřivo J-Sand [11].

Kerphalite KF je chemicky neutrální speciální písek firmy HA. Je dražší, zato má však vyšší tepelnou stabilitu a vede k velice dobrým povrchům odlitků [11].

Z mineralogického hlediska se jedná o drcený a ostře tříděný aluminosilikát – andaluzit. Má hranaté zrno s vyšší spotřebou pojiva (obr. 4-13). Jeho předností je vysoká tepelná žáruvzdornost (1850°C) a sytná hmotnost blízká křemennému ostřivu 1700 [kg·m⁻³]. Je použitelný pro všechny pojivové systémy, vhodný na všechna jádra, kde se musí používat směsi s chromitovým a zirkonovým pískem [9].



Obr. 4-13 Ostřivo Kerphalite KF [11].

V Německu se používá přibližně 1000 t/rok s Cold Boxem a při výrobě obalovaných písků. V České republice se před několika lety dosáhlo velice dobrých výsledků při odlití prototypů komplikovaných dieselových motorů s 4 a 6 válci, u kterých se blok a hlava válců odlévaly v jednom kuse [11].

Bauxid-Sand je chemicky neutrální speciální písek firmy HA. Z mineralogického hlediska jde o aluminosilikát a oxid hlinitý (obr. 4-14). Mezi jeho předností patří nižší spotřeba pojiva až o 20%.

Jeho nevýhodou je relativně nižší žáruvzdornost. Použití má podobné jako Kerphalit KF. Aplikace u obalovaných písků, furanového procesu a u Cold Boxu teprve začíná, takže je zatím málo praktických zkušeností [11].



Obr. 4-14 Ostřivo Bauxid-Sand [11].

Carebeads je speciální plně syntetický chemicky neutrální písek firmy HA s vysokou žáruvzdorností (1825°C). Ostřivem jsou žáruvzdorné kuličky ze syntetického aluminosilikátu (mullitu) s přesně definovatelným rozdělením frakcí (obr. 4-15), velmi dobrou prodyšností, možností mísení s křemenným pískem v poměru 30 - 70% vzhledem ke stejné sytké hmotnosti nedochází k odměšování ve směsi. Při vstřelování dochází k malému opotřebení jaderníků. Směs má dobrou zabíravost, hladký a čistý povrch. Po odlití se snadno odstraňuje z těžko přístupných dutin a kanálků.

Ostřivo je vhodné pro všechny pojivové systémy s vyšší spotřebou pojiva. Lze ho použít na všechna jádra, kde se musí používat směsi s chromitovým nebo zirkonovým pískem [9].

Cerabeads se používá pro velmi komplikovaná jádra, kde jsou např. tenké olejové kanály, mezery vodních plášťů tenké jen několik milimetrů atd. Dále u Cold Boxu, Warm Boxu a obalovaných písků. V dnešní době se spotřebované množství pohybuje okolo 2000 t/rok [11].



Obr. 4-15 Ostřivo Cerabeads [11].

Synax je syntetické, keramické ostřivo. Vyvinul ho ředitel firmy PV-sand a je chráněno patentem, tudíž jeho přesné složení není veřejně známé, ale v zásadě je složen ze směsi křemičitého a keramického písku a oxidu železa. Výhodou jeho použití je, že může být vyráběn v granulometrii, která je vhodná pro granulometrické složení křemičitých písků používaných dnešními slévárnami.

Tepelná roztažnost je téměř shodná s hodnotami zirkonových ostřiv. Synax pracuje dobře při odlévání šedé litiny, tvárné litiny, hliníkových i měděných slitin a ve všech běžných pojivových systémech. Pro odlévání ocelí je potřebné použít vhodný nátěr s ohledem na nižší teplotu spékání písku Synaxu.

Cena Synaxu je podobná jako u chromitového písku a asi poloviční než cena zirkonového písku. Může být dodáván jako čistý produkt (přísada), nebo již smíchan

s křemičitým pískem. Je velmi vhodný pro výrobu jader s obtížnou geometrií, např. tam, kde tenké stěny jsou napojeny do silných stěn (vodní pláště hlav válců a bloků). Regenerovatelnost je velmi dobrá. Chemicky je neutrální (pH 6,5). Sypná hmotnost cca 2000 [kg·m⁻³] je blízká křemennému písku.

Toto ostřívo bylo s velkým úspěchem testováno na odlitcích ze šedé litiny a z barevných kovů ve velkých slévárnách v Dánsku a v Německu, kde byly dosahovány dobré výsledky na jádrech s obtížnou geometrií (jádra vodních plášťů), kde poškození jader bývá značné a musí být řešeno současně s výskytem výronků [15].

5. TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY SLÉVÁRENSKÝCH OSTŘIV [1], [2], [3]

S rozvojem slévárenství a jeho chemizací vznikají také vyšší požadavky na kvalitu slévárenských surovin a směsí. Rostou nároky na ovladatelnost nových slévárenských výrobních metod a tím i na přesnost, pohotovost a spolehlivost kontrolních metod na zkoušení surovin, směsí, forem i jader.

Předpokládají se dokonalejší a přesnější zkušební metody a komplexnější systém zkoušek všech látek a směsí používaných ve slévárenství. Při výzkumu nových typů surovin, pojivových systémů a dokonalejších směsí musíme věnovat pozornost i zdokonalení měřicí techniky a přizpůsobit zkoušky a měření novým poznatkům.

Dosavadní laboratorní zkušební metody se rozšířily ve slévárnách velice rychle a staly se již klasickými. Zkušební metody jsou normalizovány podle mezinárodních zvyklostí a umožňují srovnat různé druhy směsí. Klasifikace ostřiva je již běžně rozšířena.

5.1. Stanovení vlhkosti slévárenských ostřiv

Ke stanovení vlhkosti slévárenských ostřiv lze zvolit z několika metod. Jedna z nejpoužívanějších je metoda s intenzivním sušením. Při této metodě všechny druhy zařízení a přístrojů s intenzivním sušením (např. použitím infralampy) pracují při vyšších teplotách nad 100°C, většinou se dosahuje teplot 150 - 230°C. Vysušení se dosáhne přibližně za 5 – 10 min současně s menší navázkou vzorku 10 – 20 g.

Nejvíce přístupná a zároveň nejpoužívanější je velmi rychlá metoda stanovení vlhkosti pomocí infralampy. V dnešní době je již součástí přístroje ke stanovení vlhkosti slévárenských ostřiv i váha s přesností na setiny gramu, kde se automaticky dle nastavení přístroje zobrazí naměřený údaj přímo na digitálním displeji přímo v daných hodnotách vlhkosti. Dříve se používaly externí rychlováhy s přesností 0,05 g (např. GF typ SPGE), které měly jednu stupnici v gramech a druhou v procentech vlhkosti.

Další možností intenzivního sušení je např. tunelová metoda nebo profukování teplým vzduchem. Tyto metody se však používají jen zřídka.

5.2. Zkouška ke zjištění množství vyplavitelných látek

Zkouškou se zjistí obsah vyplavitelných látek, který je tvořen podíly menšími než 0,02 mm. Stanoví se normovaným způsobem (ČSN 72 1078) plavením a sedimentací. Vyplavitelné látky jsou důležitým kritériem pro hodnocení písku i směsí. Postup stanovení vyplavitelných látek je založen na rychlosti sedimentace. Vhodné spíše pro bentonitová ostřiva.

Vyplavitelné látky se udávají v % navážky. Zkušební zařízení potřebné ke zkoušce je kalibrovaná skleněná nádobka o rozměrech $\varnothing 96 - 100 \times 180$ mm, násoska na dekantaci, tříprocentní roztok hydroxidu sodného (NaOH), vysokoobrátkové míchadlo s otáčkami $100 - 130 \text{ s}^{-1}$ (tj. 6000 – 8000 ot/min) (obr. 5-1), sušárna s automatickou regulací teploty do 110°C , technické váhy do 100 g s přesností $\pm 0,01 \text{ g}$, laboratorní teploměr s přesností $\pm 0,5^\circ\text{C}$ a laboratorní dělička sypkých hmot.



a)

a) přístroj k měření množství vyplavitelných látek (FK 2G2 NEZ 1958, Náchod)



b)

b) přístroj k měření množství vyplavitelných látek (LSz-2 Multi-serw 2011, Polsko)

Obr. 5-1 Přístroj k měření množství vyplavitelných látek.

Zkušební vzorek písku vysušený při $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ a ochlazený na teplotu místnosti se zmenší laboratorní děličkou přibližně na 50 g. Naváží se $50 \pm 0,05$ g vysušeného a ochlazeného vzorku do kádinky, přidá se 475 ml destilované vody a 25 ml tříprocentního roztoku NaOH. Nádobka se postaví na gumovou podložku a po stlačení páčky zarážky se spustí dolů pohonný systém s míchadlem a lopatkami až po dotyk s horním okrajem nádobky. Po spuštění míchadla na obr. 5-1 se obsah kádinky míchá 5 minut, pak se motor vypne a hlavice se zvedne do horní polohy. Částičky písku se z míchadla smyjí vodou ze stříčky. Nádobka se vyjme z přístroje a doplní silným proudem vody do výšky 150 mm ode dna. Odstaví se na dobu 10 minut. Potom se násoska naplní vodou, vloží se do nádobky a tím se oddělí (dekantují) částičky vyplavitelných látek od pískové základní složky. Zbytek v kádince se znovu doplní proudem vody do 150 mm ode dna a 10 minut se nechá odstát. Znovu se dekantuje. Další doplňování proudem vody a stahování násoskou se opakuje s tím rozdílem, že usazovací čas kapaliny po druhé dekantaci je 5 min. pro teplotu 16°C . Pokud se teplota liší od teploty 16°C , stanoví se doba odstátí podle tabulky (tab. 5-1). Tento postup se ukončí, až voda nad ostřivem je po 5 minutách usazování čirá.

Tab. 5-1 Tabulka pro stanovení doby odstátí kapaliny.

Teplota vody	$^{\circ}\text{C}$	10	12	14	18	20	22
Doba odstátí	s	340	330	315	290	280	255

Ostřivo se přepraví na filtr, včetně zrnek, která zůstanou na stěnách nádobky. Důkladně se opláchnou vodou ze stříčky. Po odfiltrování se ostřivo vysuší při $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ do stálé hmotnosti, zváží s přesností 0,05 g a uschová k dalším zkouškám. Stejným způsobem se zpracuje další vzorek. Výpočet lze provést dle vztahu (2):

$$V_L = \frac{m_s - m_o}{m_s} \cdot 100 \quad [\% V_L], \quad (2)$$

kde značí: V_L – množství vyplavitelných látek [%],

m_s – hmotnost vysušeného ostřiva před plavením [g],

m_o – hmotnost vysušeného ostřiva po plavení [g].

Výsledkem je aritmetický průměr dvou souběžných stanovení. Liší-li se výsledky o více než 20%, u stanovené směsi s vaznými jíly o 15%, je nutno zkoušku opakovat.

Možné ztráty mohou nastat např. při oplachování míchadla, nedodržení výšky hladiny podle teploty vody nebo opotřebením vrtulky míchadla.

Nesmí se zapomenout, že před zasazením nových vrtulek do míchačky je potřeba vrtulky zvážit s přesností 0,1 g a hmotnost zaznamenat. Při znatelném porušení nebo opotřebení vrtulek je potřeba opět vrtulky zvážit. Je-li snížena hmotnost vrtulek o více než 10% oproti původní hmotnosti, musí se vyměnit.

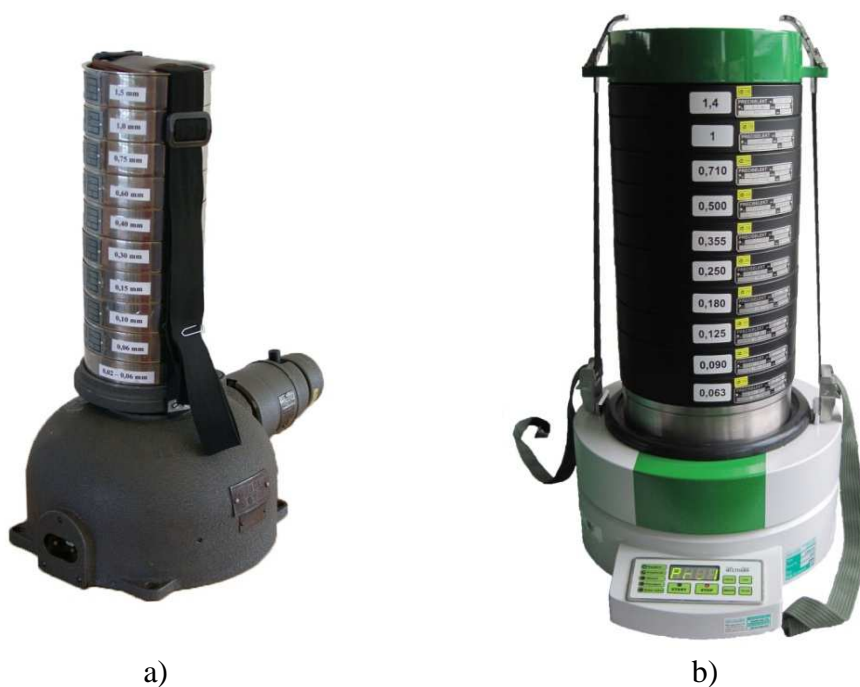
5.3. Zkouška ke stanovení zrnitosti síťovým rozbořem (granulometrická skladba)

Normovaná zkouška dle ČSN 01 5030 a 72 1204. Granulometrická skladba ostřiva a její změny mají často velký vliv na vlastnosti formovacích směsí. Disperzita pískového systému, která je podmíněna různou velikostí částic (jejich tvarem a rozložením), je vyjadřována několika pojmy. Je to zrnitost jako vlastnost udávající stupeň rozpojení písku. Je dána jeho granulometrickým složením, tj. poměrným zastoupením podílů užšího zrnění, vyjádřených v procentech výchozí hmotnosti. Znázorňuje se obvykle součtovou křivkou zrnitosti (obr. 5-3).

Pojem zrnění je určen rozmezím velikosti přítomných zrn bez zřetele k zrnitosti a je dán velikostí nejmenšího a největšího zrna. Granulometrický soubor může tvořit dvě soustavy. *Monodisperzní* soustavy obsahují částice stejné velikosti (např. tříděné písky) a *polydisperzní* soustavy, které obsahují částice různých velikostí (např. přírodní neupravené písky).

Ukázkou měřicího přístroje, který byl používán dříve je např. prosévací stroj Zbrojovky Brno na obrázku 5-2a. Mezi moderní přístroje ke stanovení zrnitosti síťovým rozbořem lze zařadit prosévací přístroj LPzB-2e polské výroby (obr. 5-2b).

Prosévací přístroj LPzB-2e (pneumatická prosévačka) na obrázku 5-2b slouží ke stanovení zrnitosti sypkých materiálů za sucha i za mokra proséváním přes sadu sít podle doporučení norem DIN, AFS i ČSN ISO 565. Přístroj se ovládá membránovou klávesnicí, která umožňuje nastavení amplitudy a doby vibrací v deseti programech. Tento přístroj lze připojit také k PC [5].



a)

b)

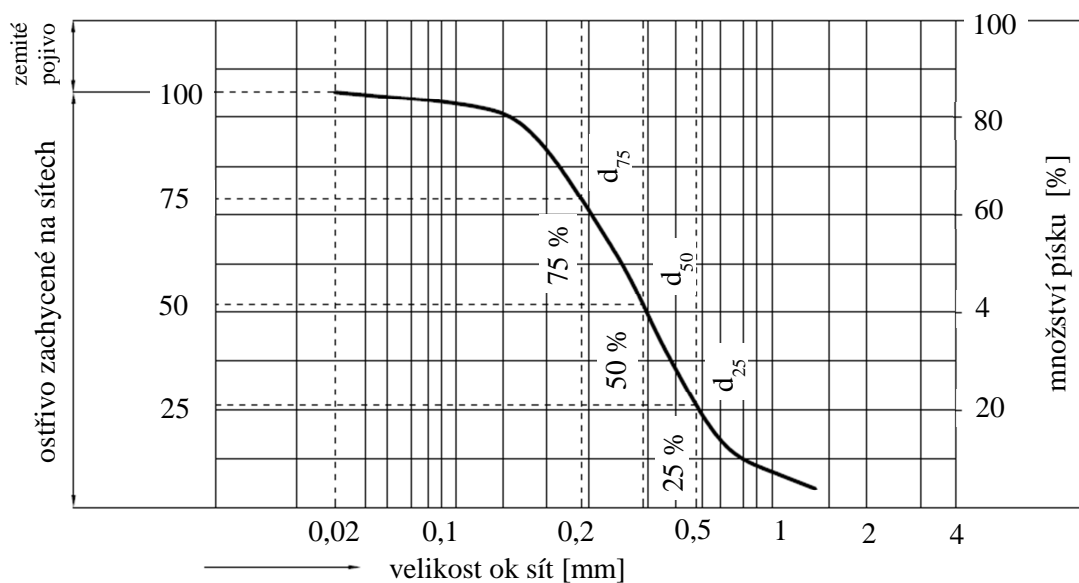
a) prosévací stroj (Zbrojovka Brno) [5]

b) prosévací stroj (LPzB-2e Multi- serw Morek 2009, polská výroba)

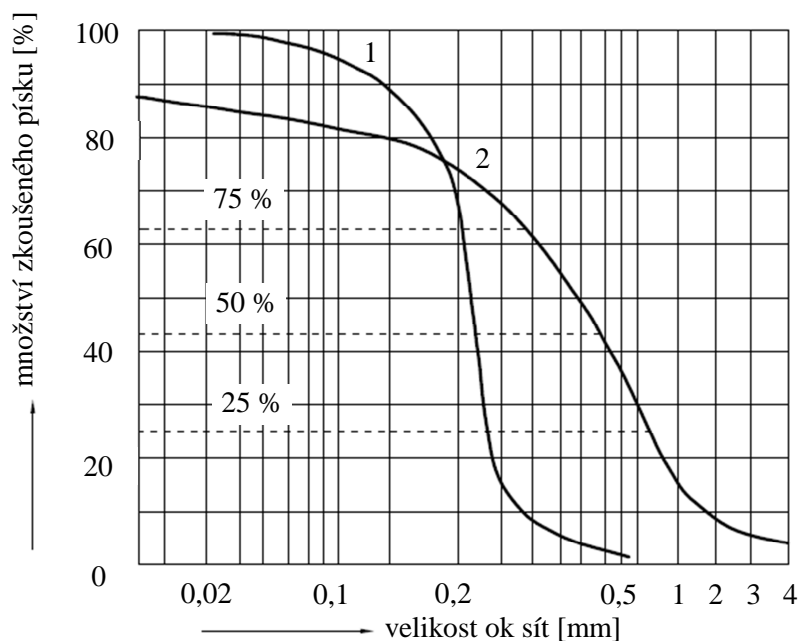
Obr. 5-2 Prosévací stroj se sadou sít.

Velikost částic je definována jako průměr myšlených kulových zrn, která mají stejný objem jako skutečná zrna pískového systému, nebo průměr myšlených kulových zrn, která mají stejnou usazovací rychlost jako skutečná zrna pískového systému.

Při sítovém rozboru je střední velikost frakce aritmetický průměr obou sít, mezi nimiž se částice zadržely.



Obr. 5-3 Konstrukce součtové semilogaritmické křivky zrnitosti ostřiva [2].



1 – T2S Provodín, 2 – písek Kobylice

Obr. 5-4 Součtové křivky zrnitosti dvou různých typů slévárenských písků [2].

5.4. Hodnocení tvaru a vnějšího vzhledu slévárenských ostřiv - mikroskopické vyhodnocení

Zkouška slouží k subjektivnímu vizuálnímu vyhodnocení charakteru povrchu křemenných zrn při několikanásobném zvětšení.

Při mikroskopickém vyhodnocování se nepoužívají fyzikální jednotky, ale popis povrchu a tvaru.

Spolehlivost hodnocení je dána rozlišovací schopností použitého mikroskopu a postřehovou i vyjadřovací schopností pracovníka. Možné chyby jsou v mezích vlastností subjektivního pozorování jednotlivé osoby.

5.5. Stanovení koeficientu hranatosti zrn písku (W_K)

Hranatost má značný technologický význam. Vyšší hranatost ostřiva vede k nižší spěchovatelnosti směsi (nižší objemové hmotnosti) se všemi důsledky na pevnost, prodyšnost, propustnost a tepelná pnutí při ohřevu. Hranatá ostřiva nelze efektivně kombinovat s organickými pojivy (oleje, pryskyřice), neboť na hranách a rozích dochází

k protrhávání zrnových obálek (ztráta kompaktnosti), což dále vede k neúměrně vysoké spotřebě pojiva se všemi důsledky, jako vysoká cena směsi atd.

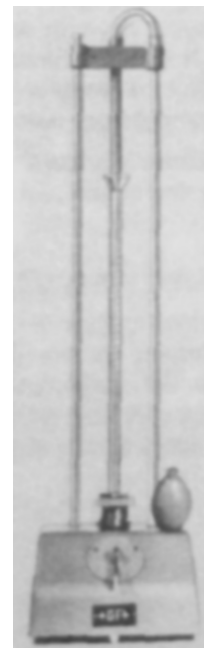
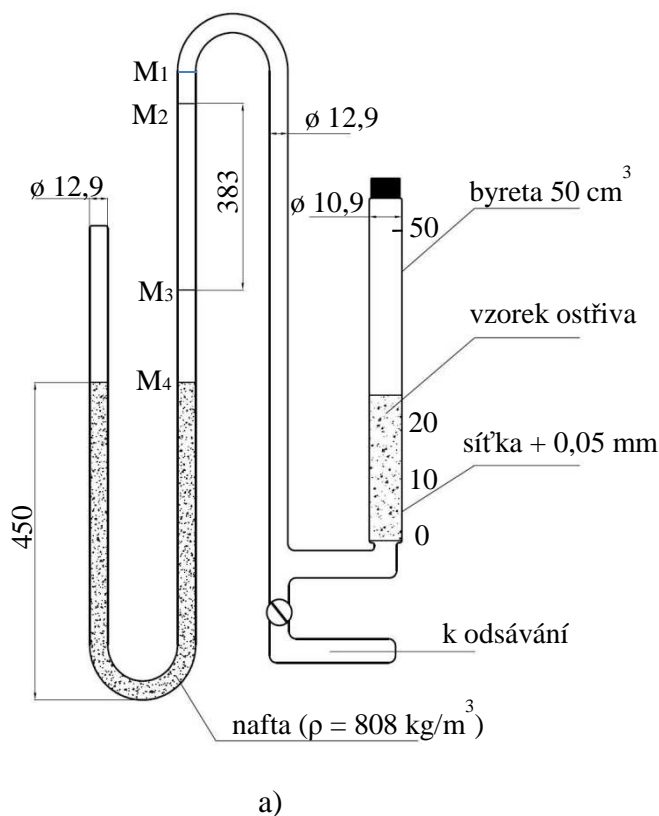
- I. Měrný povrch ostřiva - vnější S_W [$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$]
- teoretický S_{WT} [$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$]

Tvar zrn ostřiva je vyjadřován tzv. koeficientem hranatosti, udávající poměr měrného povrchu vnějšího (naměřeného) a teoretického (vypočteného). Při stanovení vnějšího měrného povrchu se měří doba průchodu konstantního objemu vzduchu přes evakuovaný sloupec písku. Teoretický měrný povrch (S_{WT}) se vypočítá ze síťového rozboru za předpokladu, že všechna zrna mají kulovitý tvar.

Vnější i teoretický měrný povrch se udávají v [$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$]. Jejich poměr určuje **koeficient hranatosti**, je to bezrozměrné číslo, které je vždy větší než 1. Čím více se liší od 1, tím více se tvar zrn liší od koule. Zkušební zařízení potřebné ke zkoušce je přístroj pro měření vnějšího měrného povrchu, např. +GF+ švýcarské výroby (obr. 5-5b) nebo obdobný přístroj, technické váhy do 100 g s přesností 0,01 g, stopky s přesností 0,1 s, štěteček a navažovací miska.

Ke stanovení vnějšího měrného povrchu se použije ostřivo po odplavení a odstranění podílů pod 0,06 mm, vysušené při 110°C. Je možno s výhodou použít ostřivo po síťovém rozboru.

Měrný povrch vnější (naměřený) zjistíme tak, že 50 g výše popsaného ostřiva, vysušeného při 110°C se za použití nálevky \varnothing 8 – 10 mm rovnoměrně nasype do trubice přístroje (obr. 5-5) a lehkým poklepem na stěnu trubice se setřepe, až nedochází k dalšímu zmenšování objemu. Na trubici se odečte objem písku a vypočte objemová hmotnost sloupce písku. Přepínací kohout se přepne na polohu [A] a pomocí gumového balónku se vytlačí uzavírací kapalina až k horní černé značce [M]. Pak se kohout přepne na značku [R]. Tím je přístroj připraven k měření. Přepínací kohout se potom přepne na [B] a změří se doba v sekundách, po kterou klesá hladina uzavírací kapaliny od horní černé značky [M₂] k dolní červené značce [M₃] (obr. 5-5a). Vnější měrný povrch S_W se odečte z diagramu příslušného přístroje, z objemu sloupce ostřiva a doby průchodu vzduchu, nebo lze vypočítat.



a) Schéma zařízení pro měření vnějšího měrného povrchu ostřiv
 b) Zařízení firmy +GF+ pro měření vnějšího měrného povrchu
 Obr. 5-5 Zařízení pro zjištění vnějšího měrného povrchu [1].

Měrný povrch vnější (vypočtený) lze vypočítat ze znalosti pórovitosti vrstvy (m), výšky vrstvy (L), doby prosávání vzduchu evakuovanou vrstvou ostřiva (T), objemové hmotnosti vrstvy (ρ_v) a dopočtené konstanty konkrétního přístroje (K_p) podle následujícího vztahu (3):

$$S_w = \frac{K_p}{\rho_v} \sqrt{T \frac{m^3}{\rho_v}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}], \quad (3)$$

kde značí: S_w – vnější měrný povrch ostřiva [$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$],
 K_p – dopočítaná konstanta konkrétního stroje [-],
 ρ_v – objemová hmotnost vrstvy [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 T – doba prosávání vzduchu evakuovanou vrstvou ostřiva [s],
 m – pórovitost vrstvy [%].

Měrný povrch teoretický (vypočtený) zjistíme tak, že ze síťového rozboru nebo přímo ze součtové křivky zrnitosti vypočteme povrch zrn jedné třídy mezi dvěma sítý podle následujícího vztahu (4):

$$S = s \cdot N = \pi d^3 \frac{6g}{\rho d^3} = \frac{6g}{d\rho} \quad [\text{m}^2], \quad (4)$$

kde značí: S - povrch zrn jedné třídy mezi dvěma sítý [m^2]
 s - povrch zrna za předpokladu ideálně kulovitěho tvaru [m^2],
 N - počet zrn v dané třídě zrnitosti [-],
 d - střední průměr zrn dané třídy [m],
 g - hmotnost celé třídy zrn [kg],
 ρ - měrnou hmotnost ostřiva [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
100 - celková navážka ostřiva [kg].

Potom sečteme povrch všech tříd a vydělíme navážkou ostřiva. Tím jsme zjistili teoretický měrný vnější povrch (5).

$$S_{WT} = \frac{\sum S}{100} \quad [\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}], \quad (5)$$

kde značí: S_{WT} - teoretický měrný vnější povrch [$\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$]
 $\sum S$ - součet povrchů všech tříd [m^2],
100 - celková navážka ostřiva [kg].

II. Koeficient hranatosti ostřiva

Koeficient hranatosti (6) se vypočte z hodnot vnějšího a teoretického měrného povrchu.

$$W_K = \frac{S_W}{S_{WT}} \quad [-], \quad (6)$$

kde značí: W_K - koeficient hranatosti ostřiva [-],
 S_W - měrný povrch ostřiva - vnější [$\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$],
 S_{WT} - teoretický měrný vnější povrch [$\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$].

Rozdíl dvou souběžných stanovení nesmí být větší než 3%.

Při sypaní písku do trubice je nutno zabránit rozduřování zrn různé velikosti a při sklepávání písku v trubici je nutno klepat lehce, aby se již usazený písek znovu nenakypřil nebo nepraskla trubice. Je nutno překontrolovat těsnost trubice.

Celkový měrný povrch S_c je možno stanovit metodou nízkoteplotní desorbce dusíku za použití speciálního přístroje. Hodnota S_c zahrnuje i mikropóry na povrchu

zrn, které se při určení vnějšího měrného povrchu nestanoví a jejichž měrný povrch je 40 – 80 krát větší než vnější měrný povrch.

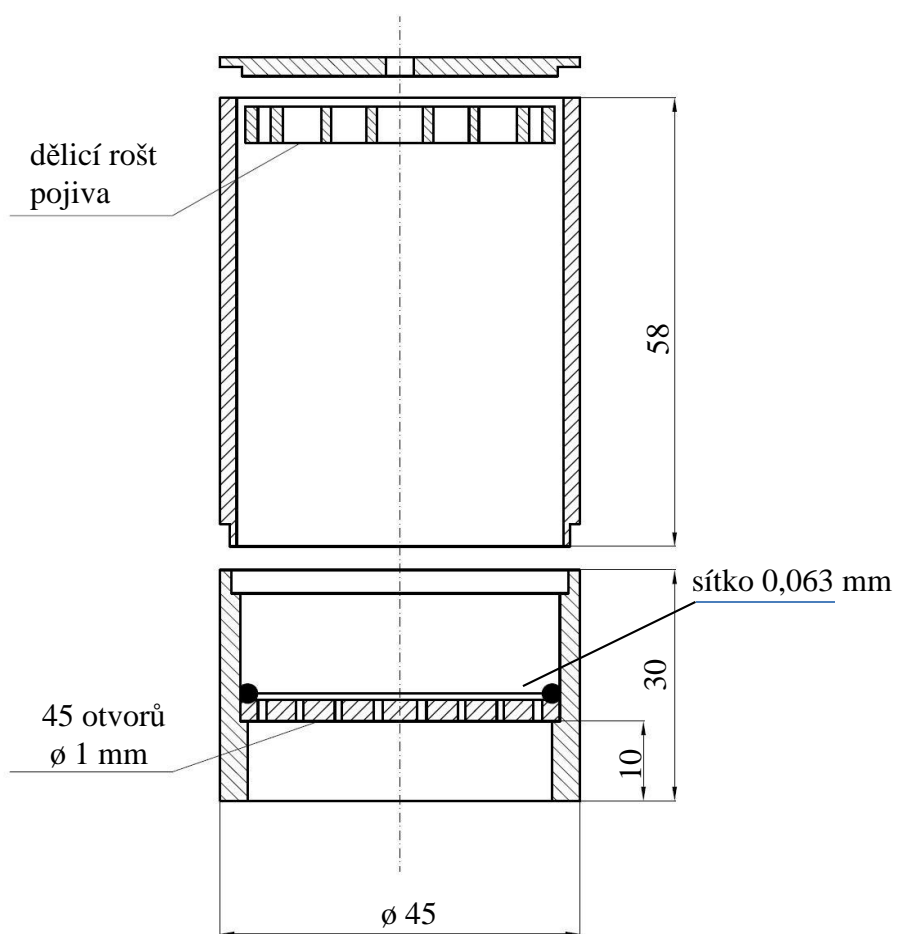
5.6. Stanovení nasákavosti slévarenských směsí

Podstatou zkoušky je stanovení obsahu vody nebo pojiva nasáknutého do nerovností na povrchu zrn písku. Zjišťuje se tak, že přebytek vody nebo pojiva se z povrchu zrn odstraní odstředěním za konstantních podmínek a zbytek vázaný na zrnech se stanoví vážením.

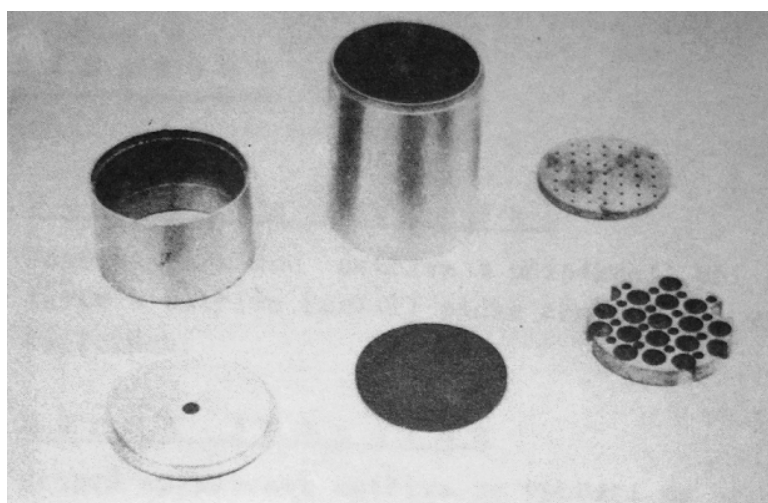
Nasákavost se uvádí v procentech nárůstu hmotnosti (vlivem vázané vody nebo pojiva na zrnech). Zkušební zařízení potřebné ke zkoušce jsou kádinky a misky běžného laboratorního vybavení, sušárna s automatickou regulací teploty do 110°C, technické váhy do 200 g s přesností 0,01 g, laboratorní odstředivka zajišťující podmínky měření, tj. odstředivé zrychlení 11,6 [m·s⁻²] (při 66,6 s⁻¹), kyvety na měření (obr. 5-7).

Ke stanovení nasákavosti se použije vzorek písku (směsi), vysušený při 110°C, který byl rozdělen děličkou nebo kvartací na menší část, přibližně 300 g. Potom se sestaví hliníková kyveta (obr. 5-6) tak, aby na spodním roštu (děrovaném dnu, průměr otvoru 1 mm) bylo síto o průměru 0,063 mm. Do sestavené kyvety se naváží přesně 100 g vysušeného vzorku písku a poznačí se celková váha kyvety s pískem. Na písek se položí horní dělicí rošt pojiva, naváží se cca 20 g vody nebo pojiva a rovnoměrně nanese na celou plochu. Kyveta se vloží do odstředivky a odstředí se 10 min při odstředivém zrychlení 11,6 [m·s⁻²]. Nakonec se kyveta i se vzorkem zváží a přírůstek hmotnosti znamená procenta nasákavosti.

Dvě souběžně provedené zkoušky se nemají od sebe lišit o více než $\pm 0,1\%$. Kyvety nesmí po odstředění zůstat v odstředivce ve vodorovné poloze, ale po jejím zastavení musí vlastní vahou přejít do svislé polohy. Pokud tomu tak není, vzniká nebezpečí, že dojde ke styku odstředěného media s pískem a zjištěná hodnota je pak chybná. Ihned po zvážení se musí kyvety i jednotlivé části dokonale umýt a vysušit, aby nedošlo k zaschnutí pojiva.



Obr. 5-6 Schéma kyvety na zkoušku nasákavosti [3].



Obr. 5-7 Měřicí kyveta v rozebraném stavu [3].

5.7. Zkouška spékavosti slévárenských ostřiv

Podstatou zkoušky je posouzení sklonu ostřiva k připékání, při obsahu taviv v ostřivu (směsi) podle chování při vyšších teplotách.

Stupeň spékavosti ostřiva po vyhřátí na určitou teplotu se posuzuje subjektivně podle určitých hledisek.

Vyhodnocení spékavosti se rozděluje na 6 kategorií dle stupně spečení měřeného ostřiva.

1. Sypký – převrácením lodičky se obsah vysype.
2. Počínající spékáním – obsah lodičky lze vysypat po lehkém uvolnění jehlou.
3. Středně spečený – uvolnění jehlou je obtížné, avšak možné.
4. Spečený – nelze ho uvolnit jehlou, je však dobře patrná pórovitá struktura (obr 5-8a).
5. Počínající tavení – pórovitá struktura se začíná ztrácet, zrnka písku jsou roztavena (5-8b).
6. Tavení – směs je roztavena a tvoří souvislou sklovitou hmotu.



a – keramická lodička se spečeným ostřivem

b – keramická lodička s počínajícím tavením ostřiva

Obr. 5-8 Keramické lodičky po provedeném experimentu ke zjištění spékavosti ostřiva.

6. EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ ZKOUŠEK SÉVÁRENSKÝCH OSTŘÍV

Experimentální vyhodnocování zkoušek se řešilo na dvou rozdílných vzorcích křemenných ostřív. První byl slévárenský písek z lokality Střeleč ST 53 PAP. Druhý vzorek byla směs dvou typů střelečských ostřív, který sloužil k porovnání dle zjištěných vlastností a parametrů a k následnému zařazení. Pouze pro toto experimentální řešení byl nazván KSP-TUL.

ST 53 PAP z firmy Sklopísek Střeleč, a. s. Akciová společnost Sklopísek Střeleč je výrobce vysoce kvalitních sklářských, slévárenských, technických, sportovních a mletých písků a křemičitých jílu.

Střelečské písky se těží od roku 1939. Lokalita Střeleč se nalézá 12 km severozápadně od Jičína u obce Hrdoňovice. Ložisko vzniklo usazením sedimentů v poměrně mělkém moři křídového útvaru druhohorního stáří. Ložisko tvoří pískovce zpevněné kaolinickým pojivem s obsahem SiO_2 nad 98,5%. V zrnitosti převládá frakce 0,10 až 0,63 mm. Ložisko se těží povrchovou těžbou v jámovém lomu.

Technické písky navíc vyhovují vyhlášce č. 409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody.

6.1. Stanovení vlhkosti slévárenských ostřív

Ke stanovení vlhkosti zkušebních vzorků se zvolila metoda intenzivního sušení. Sušení obou vzorků se provedlo na novém programovatelném elektrickém zařízení analyzátoru vlhkosti MAC50/NH (obr. 6-1) s regulovaelnou teplotou a přesnou váhou.

Nejprve se zapnul přístroj a provedla se kalibrace z důvodu přesnosti měření. Po úspěšné kalibraci přístroje se pomocí ovládacích tlačítek vstoupilo do nastavení vlastního měření, kde se nastavil způsob ukončení sušícího procesu (čas ukončení na 5 minut). Dále se nastavila maximální teplota zahřívání a způsob zahřívání (120°C, klasický skokový režim). Potom se zvolila hodnota výstupu na možnost zobrazení změny hmotnosti, zaznamenané během sušícího procesu, v procentech. To byl poslední základní bod nastavení pro stanovení vlhkosti a začalo se s vlastním měřením. Dále se postupovalo dle zobrazovaných úkonů na obrazovce displeje. Nejprve se zkalibrovala váha po vložení jednorázové misky, poté se nasypalo na misku dostatečné množství

daného vzorku ostřiva a zavřelo se víko přístroje. Tím se spustil automaticky přednastavený proces sušení. Po ukončení nastavené doby zazněl zvukový signál upozorňující konec měření vloženého vzorku. Na obrazovce displeje byla zobrazena přímo hodnota vlhkosti zkoušeného vzorku. Byly otestovány oba dané vzorky několikrát. Pro vzorek střeleckého písku ST 53 PAP se naměřila výsledná hodnota vlhkosti $W_a = 0,018\%$. Pro porovnávací vzorek z KSP-TUL se naměřila hodnota vlhkosti $W_a = 0,012\%$.



Obr. 6-1 Analyzátor vlhkosti MAC 50/NH firmy RADWAG.

Analyzátor vlhkosti MAC 50/NH na obrázku 6-1 je zařízení pro zjišťování relativní vlhkosti a určení suché hmotnosti malých vzorků různých materiálů. Slouží i pro stanovení hmotnosti vážených objektů. Tyto funkce umožňují stanovit rychle a přesně, kolik vody zkoumaný vzorek obsahuje. K dispozici je LCD nebo grafický displej, který umožňuje velmi jednoduché a intuitivní ovládání zařízení. MAC analyzátor vlhkosti se může použít ke zjištění vlhkosti velkého množství materiálů.

Nejdříve zařízení přesně určí hmotnost objektu položeného na vážní misce. Poté je vzorek rychle zahřát halogenovou nebo IR lampou. To způsobí uvolnění vlhkosti z testovaného vzorku. Během vzorkování zařízení průběžně kontroluje pokles hmotnosti a po následném výpočtu zobrazí aktuální hmotnost vzorku na displeji.

Ve srovnání s tradičními metodami určování vlhkosti různých materiálů je při použití analyzátorů vlhkosti série MAC výrazně zkrácen měřicí čas a zjednodušen proces testování. V analyzátoru vlhkosti je umožněno nastavit množství parametrů, které následně ovlivní celý průběh měření, např. teplota, čas, sušící profil [16].

6.2. Stanovení zrnitosti síťovým rozbořem

Účelem zkoušky je zjištění granulometrické skladby ostřiva pomocí vysívání na sadě sít. Určení velikosti středního zrna d_{50} , pravidelnosti podle součtové křivky zrnitosti a určení klasifikačního znaku.

Síťový rozbor je vyjádřen podíly na sítích v % navážky vzorku a velikostí středního zrna udán v mm a klasifikačním znakem sestaveným podle ČSN 72 1204. Zkušební zařízení potřebné ke zkoušce je sada kontrolních sít \varnothing 100 mm, technické váhy do 200 g zabezpečující vážení s přesností $\pm 0,05$ g, sušárna s nastavitelnou a automaticky regulovatelnou teplotou do 110°C, prosívací přístroj vhodné konstrukce s vratným a krouživým pohybem, umožňující prosívání předepsanými sítí s průměry ok v mm (1,4 – 1,0 – 0,7 – 0,5 – 0,355 – 0,250 – 0,180 – 0,125 – 0,090 – 0,063) nebo vibrační typ přístroje a plochý štětec na očištění jednotlivých sít. K síťovému rozboru se používá vysušené ostřivo po stanovení vyplavitelných látek. Všechny částice musí být dokonale odděleny, nesmí se mechanicky rozrušovat a nesmí se navlhčovat, aby nedocházelo k ucpání sít.

Zkušební vzorek ostřiva o původní hmotnosti 100 g po stanovení vyplavitelných látek se vysívá 10 minut na příslušné sadě sít dle ČSN 15 3105. Pro provozní zkoušky lze používat i zkrácené sestavy sít. Po prosátí se zbytky jednotlivých sít samostatně sesypou na lesklý papír, štětcem se pečlivě očistí pletivo i stěny sít a získané podíly se zváží s přesností 0,01 g. Propad v misce pod sítí obsahuje zrna o velikosti 0,063 – 0,02 mm. Poměrné obsahy ostřiva na jednotlivých sítích se vypočítají, přičemž se bere jako základ navážka na stanovení vyplavitelných látek (100 g). Zrnitost písku se vyjadřuje graficky součtovou křivkou zrnitosti ostřiva v jednotném semilogaritmickém rastru s logaritmickou stupnicí pro velikost ok sít na ose vodorovné a s dekadickou stupnicí na ose svislé pro procenta podílů písku zachycených na sítích. Součtová křivka zrnitosti ostřiva se sestrojí tak, že k příslušné velikosti ok síta se nanese v procentech množství všech zrn, zachycených na tomto síti a na všech nad ním ležících sítích tj. s většími otvory.

Výpočet podílů ostřiva na sítích se vypočítá ze vztahu (7):

$$\text{Podíly ostřiva na síti} = \frac{m_p}{m_s} \cdot 100 \quad [\%], \quad (7)$$

kde značí: m_p – hmotnost podílu ostřiva na síti [g],

m_s – hmotnost vysušeného ostřiva naváženého k plavení [g].

Součet množství všech frakcí ostřiva a vyplavitelných látek musí být $100 \pm 1\%$ původní vysušené navážky písku. Výsledkem je aritmetický průměr dvou souběžných stanovení. Jednotlivé frakce mohou mít rozdíl do 20%, jinak je nutno zkoušku opakovat.

Dalším kritériem zrnitosti je **stupeň stejnorodosti** (pravidelnost zrnění) **S**, který vyhovuje jen pro přirozená ostřiva (křemenné písky), u kterých má součtová křivka v úseku mezi d_{25} a d_{75} lineární průběh (obr. 5-3). Toto kritérium se vypočte dle vztahu (8). Čím se stupeň pravidelnosti zrnění blíží hodnotě 1, tím je ostřivo stejnoměrnější a naopak. Kritérium ale nehodnotí podíly pod d_{25} a nad d_{75} (50% z celkové hmotnosti ostřiva. Toto hodnocení je nevystačující u umělých ostřiv (šamot, lupek, korund, bazická ostřiva, atd.), kde integrální (součtová) křivka je neplynulá, lomená.

$$S = \frac{d_{75}}{d_{25}} \quad [-], \quad (8)$$

Kde značí: **S** – stupeň stejnorodosti (pravidelnost zrnění [-],

d_{25} - průměr ok síta, kterému odpovídá 25% z celkové hmotnosti ostřiva
(po odplavení podílů menších než 0,02 mm) [mm],

d_{75} - průměr ok síta, kterému odpovídá 75% z celkové hmotnosti ostřiva
(po odplavení podílů menších než 0,02 mm) [mm].

Chyby měření mohou nastat např. porušením síta, nedokonalým odstraněním ostrých zrn ze síta nebo nedokonalým zachycením všech zrn ze síta na papír.

Příklad výpočtu hodnot z naměřeného experimentu č. 1 vzorku ST 53 PAP

Dle stanoveného postupu se na vzorku ST 53 PAP provedlo 10 měření pro přesnější konečné určení zjištěných a vypočtených parametrů. Níže je uveden příklad postupu výpočtů u měření č. 1 tohoto vzorku.

Tab. 6-1 Naměřené a vypočtené hodnoty vzorku ST 53 PAP z experimentu č. 1.

Síta	Naměřeno		Součet
mm	g	%	%
1,400	0,00	0	0,00
1,000	0,00	0	0,00
0,710	0,03	0,03	0,03
0,500	2,93	2,93	2,96
0,355	15,72	15,72	18,68
0,250	33,38	33,38	52,06
0,180	28,51	28,51	80,57
0,125	17,43	17,43	98,00
0,090	1,40	1,4	99,40
0,063	0,14	0,14	99,54
0,020	0,01	0,01	99,55

Po měření	99,55 g	podmínka ztráty max. 1% navážky splněna
-----------	---------	--

Výpočet hodnot pro stanovení zrnitosti:

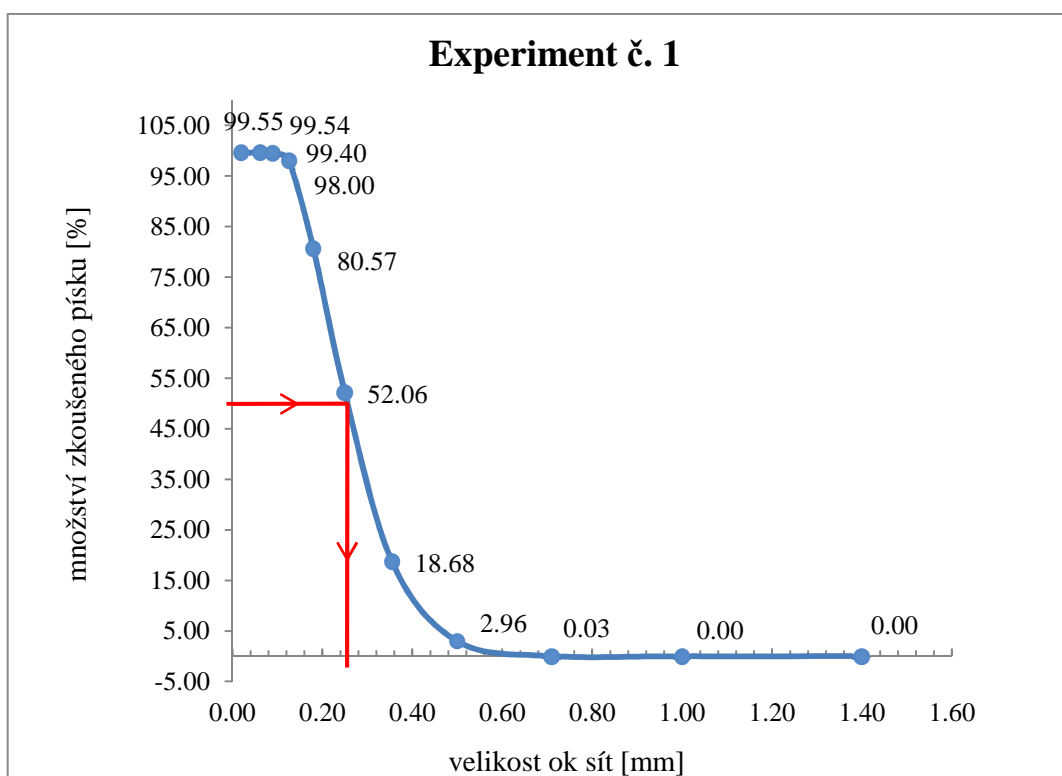
Výpočet podílu ostríva na sítích (např. na sítu s průměry ok 0,355):

$$\frac{m_p}{m_s} \cdot 100 = \frac{15,72}{100} \cdot 100 = 15,72 \% \quad (7)$$

Postup výpočtu podílů množství zachycených u jednotlivých frakcí je zpracován v tabulce 6-2.

Tab. 6-2 Celkové množství ostřiva zachycené na jednotlivých sítích [%].

Třída zrnitosti [mm]	Výpočet celkového množství zachycené na sítích [%]
1,4	$0 \cdot 100 / 100 = 0$ [%]
1,4 - 1,0	$(0 + 0) \cdot 100 / 100 = 0$ [%]
1,0 - 0,71	$(0 + 0 + 0,03) \cdot 100 / 100 = 0,03$ [%]
0,71 - 0,5	$(0 + 0 + 0,03 + 2,93) \cdot 100 / 100 = 2,96$ [%]
0,5 - 0,355	$(0 + 0 + 0,03 + 2,93 + 15,72) \cdot 100 / 100 = 18,68$ [%]
0,355 - 0,25	$(0 + 0 + 0,03 + 2,93 + 15,72 + 33,38) \cdot 100 / 100 = 52,06$ [%]
0,25 - 0,18	$(0 + 0 + 0,03 + 2,93 + 15,72 + 33,38 + 28,51) \cdot 100 / 100 = 80,57$ [%]
0,18 - 0,125	$(0 + 0 + 0,03 + 2,93 + 15,72 + 33,38 + 28,51 + 17,43) \cdot 100 / 100 = 98,00$ [%]
0,125 - 0,09	$(0 + 0 + 0,03 + 2,93 + 15,72 + 33,38 + 28,51 + 17,43 + 1,4) \cdot 100 / 100 = 99,40$ [%]
0,09 - 0,063	$(0 + 0 + 0,03 + 2,93 + 15,72 + 33,38 + 28,51 + 17,43 + 1,4 + 0,14) \cdot 100 / 100 = 99,54$ [%]
0,063 - 0,02	$(0 + 0 + 0,03 + 2,93 + 15,72 + 33,38 + 28,51 + 17,43 + 1,4 + 0,14 + 0,1) \cdot 100 / 100 = 99,55$ [%]



Graf 6-1 Výsledná součtová křivka zrnitosti vzorku ST 53 PAP při experimentu č. 1.

Postup k určení hodnot d_{50} , d_{25} , d_{75}

Ve vytvořeném grafu 6-1 z vypočtených dat se vynese hodnota 50% ze svislé osy y až do průsečíku s grafem. Poté se odečte na ose x výsledná hodnota velikosti středního zrna d_{50} , která odpovídá průsečíku grafu a hodnoty osy y . Stejným způsobem se zjistí i hodnoty d_{25} a d_{75} , jen se vycházelo z hodnot 25% a 75% na ose y . Tyto hodnoty jsou důležité pro další výpočet.

Z grafu 6-1, který byl vytvořen na základě naměřených a vypočítaných hodnot z experimentu č.1 se stanovila hodnota velikosti středního zrna $d_{50} = 0,255 \text{ mm}$ a pomocné hodnoty $d_{25} = 0,327 \text{ mm}$ a $d_{75} = 0,194 \text{ mm}$, které se použijí dále pro určení stupně stejnorodosti.

Stanovení stupně stejnorodosti (kritérium zrnitosti):

Pomocí výsledných, průměrných a pomocných parametrů ostřiva se vypočte kritérium zrnitosti dle vzorce (8):

$$S = \frac{d_{75}}{d_{25}} = \frac{0,194}{0,327} = 0,592 \text{ [-]} \quad (8)$$

Výsledky experimentálního stanovení zrnitosti síťovým rozbořem obou vzorků a jejich následné porovnání

Stejným způsobem měření a výpočtu popsaným v kapitole 6.2 se pokračovalo ve všech dalších experimentech u obou zkoušených vzorků. Tj. nejprve se proselo 100 g vzorku ostřiva, potom se zvážily postupně všechny frakce na sítích a zjištěná data se zaznamenaly do přehledné tabulky. Pomocí následně dopočtených dat se sestavil graf, ze kterého se odečetly výsledné parametry (velikost středního zrna d_{50} a pomocné údaje d_{25} a d_{75}). Vše se zapsalo do přehledné tabulky a určily se průměrné hodnoty ze všech 10 měření (tab. 6-3).

U obou vzorků se postup měření a výpočtů nelišil. Výsledné hodnoty obou vzorků se pro větší přehlednost zaznamenaly do seznamů (tab. 6-3, tab. 6-4).

Tab. 6-3 Výsledky všech měření vzorku ST 53 PAP.

Experiment č.	d ₅₀ [mm]	d ₂₅ [mm]	d ₇₅ [mm]	S [-]
1	0.255	0.327	0.194	0.592
2	0.251	0.325	0.191	0.588
3	0.256	0.326	0.195	0.597
4	0.256	0.327	0.194	0.593
5	0.260	0.331	0.197	0.594
6	0.265	0.332	0.197	0.594
7	0.266	0.333	0.202	0.606
8	0.262	0.330	0.199	0.603
9	0.271	0.340	0.208	0.613
10	0.263	0.331	0.200	0.603

Σ	2.604	3.304	1.977	5.983
---	-------	-------	-------	-------

Průměr	0.260	0.330	0.198	0.598
---------------	--------------	--------------	--------------	--------------

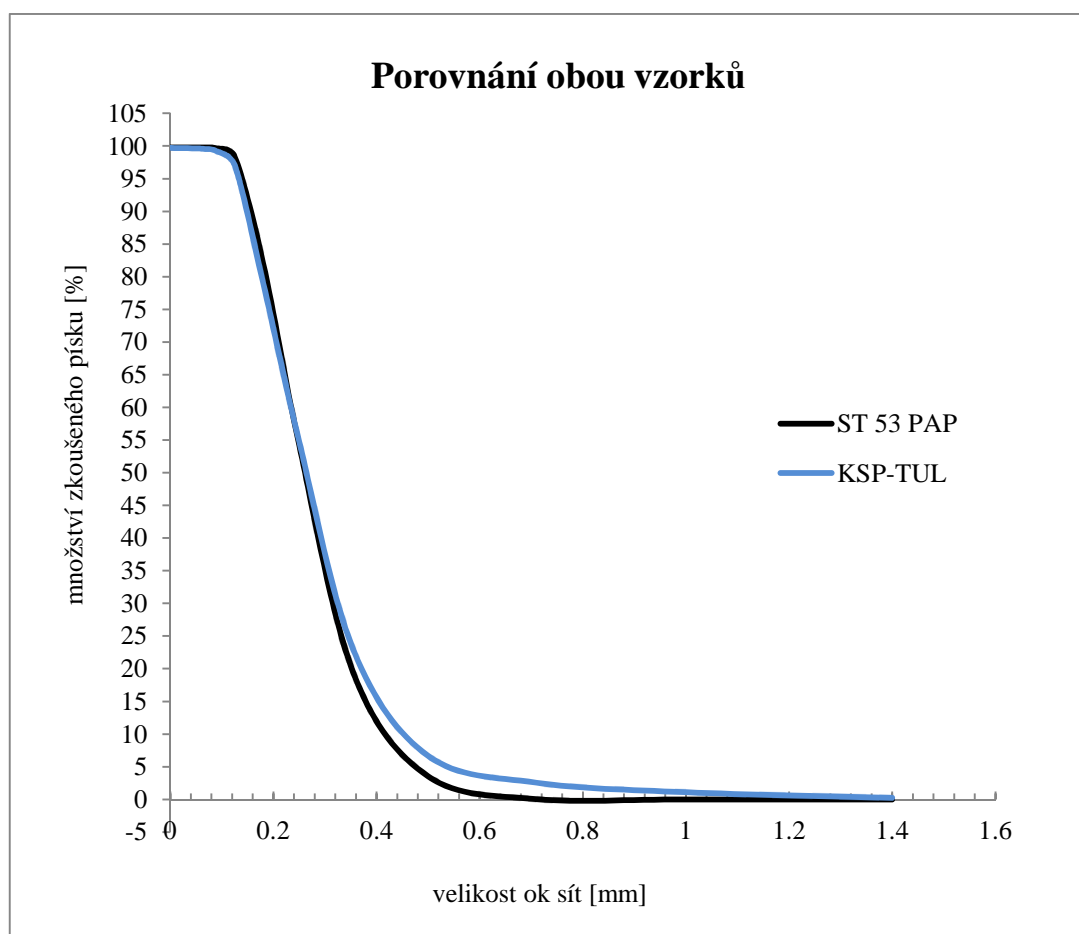
Tab. 6-4 Výsledky všech měření porovnávacího vzorku KSP-TUL.

Experiment č.	d ₅₀ [mm]	d ₂₅ [mm]	d ₇₅ [mm]	S [-]
1	0.260	0.339	0.189	0.556
2	0.260	0.340	0.189	0.556
3	0.260	0.341	0.190	0.558
4	0.261	0.340	0.189	0.556
5	0.268	0.351	0.195	0.555
6	0.265	0.347	0.193	0.557
7	0.263	0.345	0.191	0.553
8	0.257	0.337	0.182	0.541
9	0.271	0.353	0.198	0.562
10	0.263	0.343	0.191	0.557

Σ	2.629	3.435	1.907	5.552
---	-------	-------	-------	-------

Průměr	0.263	0.344	0.191	0.555
---------------	--------------	--------------	--------------	--------------

V celkovém grafu 6-2 jsou zobrazeny semilogaritmické křivky zrnitosti obou vzorků ST 53 PAP a porovnávacího vzorku KSP-TUL. Je zde patrný pouze rozdíl ve spodní části, ze kterého vyplývá, že porovnávací vzorek KSP-TUL obsahoval větší množství zrn na sítích s průměry ok od 0,4 – 1,2 mm. Dle zjištěného kritéria ze síťového rozboru jde o velmi podobné ostřívo střelečských slévárenských písků typu ST 53.



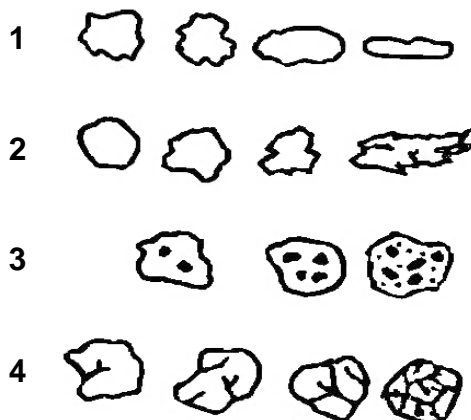
Graf 6-2 Výsledná součtová křivka zrnitosti obou zkoušených vzorků daných ostřiv.

6.3. Hodnocení tvaru a vnějšího vzhledu slévarenských ostřiv – mikroskopické vyhodnocení

K mikroskopickému měření se použije cca 5 g surového písku, vysušeného při 110°C, binokulární mikroskop (lupa), který umožňuje zvětšení až 40x a podkládací mikroskopická sklíčka.

Na mikroskopické podkládací sklíčko se rovnoměrně rozprostře vzorek písku tak, aby jednotlivá zrnka byla odděleně v jedné vrstvě, sklíčko se umístí pod mikroskop a osvětlí se. Po zevrubné prohlídce celého vzorku se vyhledá charakteristická oblast a ta se vyhodnotí.

Hodnocení tvaru zrn se uvádí v kategoriích podle:



Obr. 6-2 Rozdělení ostřiv do kategorií dle vnějšího vzhledu [7].

- 1) *celkového tvaru zrna*: izometrický, protažený krátce, protažený dlouze;
- 2) *tvaru zrna (hrany)*: kulatá zrna, hranatá zrna se zaoblenými hranami, hranatá zrna, ostrohranná, šupinovitá, nepravidelná;
- 3) *povrchu zrn*: hladký (lesklý, matný, zrnitý), drsný (lesklý, matný, zrnitý), hrubý (deformovaný, rozpraskaný, homogenní nehomogenní);
- 4) *celistvosti zrna*: slabé rozpukání, silné rozpukání, obsah dutin, silné rozpukání s obsahem dutin.

Spolehlivost hodnocení je dána rozlišovací schopností použitého mikroskopu a postřehovou i vyjadřovací schopností pracovníka. Možné chyby jsou v mezích vlastností subjektivního pozorování jednotlivé osoby.

Vlastní experimentální měření

Měření se uskutečnila na mikroskopu s připojenou kamerou se zvětšením 2,5 x 8. Pomocí tohoto vybavení se pořídily snímky měřeného vzorku ST 53 PAP (obr. 6-3) a porovnávacího vzorku KSP-TUL (obr. 6-4).



Obr. 6-3 Pořízený snímek vzorku ST 53 PAP pomocí mikroskopu připojeného k PC.

Z pořízeného snímku (obr. 6-3) ST 53 PAP se určil tvar zrna dle kategorií v kapitole 5.4 jako *izometrický mírně protažený, hranatý se zakulacenými hranami, hladký*.



Obr. 6-4 Pořízený snímek porovnávacího vzorku KSP-TUL pomocí mikroskopu.

Dle vyfotografovaného snímku (obr. 6-4) z optického mikroskopu se určil tvar zrn porovnávacího vzorku KSP-TUL podle kategorií v kapitole 5.4 jako *izometrický mírně protažený, hranatý se zakulacenými hranami, hladký*.

6.4. Experimentální řešení zkoušky spékavosti slévárenského ostřiva

Zkušební zařízení potřebné ke zkoušce je pícka pro stanovení spékavosti, porcelánové lodičky (používané v laboratořích při stanovení uhlíku v kovech), ocelová jehla.

Na zkoušku spékavosti musí být připraven suchý, homogenní vzorek. Potom se několik gramů vzorku lehce nasype na porcelánovou lodičku, zarovná a zasune se do žárového pásma vyhřáté pícky. Po dosažení žádané teploty se ponechá v píce 3 minuty. Po této době se lodička vyjme, nechá vychladnout a pomocí ocelové jehly a případně menšího zvětšení (binokulární lupa) se hodnotí obsah lodičky – stupeň spečení, či tavení vzorku.

Spékavost se zkouší při teplotách 1100, 1200, 1250, 1300, 1350 a 1400 °C. Dále je možno do výsledku zaznamenat chování při zahřívání (např. praskání zrn) a barvu vzorku po vypálení či roztavení.

Při zkoušení směsí a písků pro ocelové odlitky se má zkoušet ostřivo čisté, vyplavené, bez pojiva. Při zasouvání a vysouvání lodičky do žárového pásma pece (silitu), musí být pec vypnuta (z bezpečnostních důvodů). V případě vypadnutí části písku na silit je potřeba ihned písek, při vypnuté peci, ohnutým drátkem (škrabkou) odstranit, aby se nepřilepil mezi vinutí silitu.

U souběžného provedení zkoušky nesmí být rozdíl v hodnocení. V případě rozdílu se provede třetí zkouška a berou se v úvahu dvě shodné.

Chybné měření může nastat např. špatně umístěným termočlánekem uvnitř trubice (při zasunutí se nesmí lodičky dotýkat).

Vlastní experimentální měření

Zkouška spékavosti ostřiva se provedla na obou vzorkcích, kde od každého vzorku byl proveden experiment na 3 porcelánových lodičkách. Tyto lodičky se vložily

do elektrické odporové pece (obr. 6-5) a zahřívaly do daných teplot. Měření se řídilo dle předepsaného návodu a dbalo se na dodržení všech bezpečnostních pravidel.



Obr. 6-5 Elektrická odporová pec na které byl proveden experiment k určení spékavosti ostřiva.

Dle možností měřicího zařízení (obr. 6-5), kde pec dosáhla max. teploty 1200°C, se výsledky vzorku ST 53 PAP a porovnávacího vzorku KSP-TUL ve všech 3 kádinkách téměř nelišily.



Obr. 6-6 Pohled do elektrické odporové pece při zahřívání zkušebních vzorků.

Jelikož po otočení porcelánových lodiček se všechen obsah měřeného ostřiva vysypal, tak dle hodnocení v kapitole 5.7 jde o možnost **1. Sypký** u obou vzorků.

7. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na sledování vlastností jednotlivých ostřív používaných jako součást pískových slévárenských forem, popisu jejich zkoušení a zjišťování jejich parametrů. V této práci se provedlo komplexní měření 2 vybraných vzorků a jejich porovnání.

I přes své nedostatky je stále nepoužívanější surovinou pro výrobu netrvalých jednorázových forem křemenné ostřívo. Hlavním faktorem rozšířeného používání je jeho cena, která je oproti jiným ostřívům několikrát nižší. Mezi jeho největší nedostatky patří neplynulá tepelná roztažnost vlivem polymorfních přeměn a tím i malá rozměrová přesnost, trhliny, zapečeniny a zvýšená reaktivnost za vysokých teplot s některými oxidy kovů. Další velká nevýhoda je často nižší čistota s živci a křemenným prachem, který způsobuje smrtelnou nemoc - silikosu.

Nekřemenná ostřiva se využívají hlavně díky jejich vysoké žáruvzdornosti a nereaktivnosti s kovem, protože u nich nedochází ke změnám krystalické mřížky. Z důvodu eliminace vad odlitku není vždy nutné použít samotné nekřemenné ostřívo, ale stačí nalézt vhodnou kombinaci s ostřívem křemenným. Vysoká cena, vzácnost samotných minerálů a rozdílná sypaná hmotnost oproti křemenným ostřívům vedla k vývoji nových syntetických nekřemenných ostřív, které lze považovat za jakousi „hudbu budoucnosti“.

Syntetická ostřiva nabízejí vhodnou zrnitost, sypanou hmotnost jako křemenná ostřiva a vysokou žáruvzdornost. Navíc mají plynulou tepelnou dilataci a neutrální charakter. Po použití syntetických ostřív mají odlitky velice dobrý povrch a náklady na cídírenské operace se snižují. Syntetická ostřiva sice nepatří k nejlevnějším, ale poskytují vyšší kvalitu výroby a nižší náklady na neshodné kusy. Používají se převážně ve slévárnách v Německu, USA a Japonsku, které dodávají odlitky s vysokou jakostí pro energetický, letecký a automobilový průmysl.

V druhé části se práce zabývala zkouškami slévárenských ostřív. Některé z nich jsou zde popsány a provedeny na vzorku ST 53 PAP ze Sklopísek Střeleč, a. s. a porovnávacím vzorku KSP-TUL z Katedry strojírenské technologie TU v Liberci. V obou případech jde o křemenné písky téměř podobných parametrů. Ve zkoušce zrnitosti síťovým rozborem se u vzorku ST 53 PAP potvrdily parametry dodané výrobcem. U porovnávacího vzorku KSP-TUL byl navíc potvrzen větší podíl velkých zrn, které narušují homogenitu a zvyšují hrubost směsi.

Seznam použité literatury

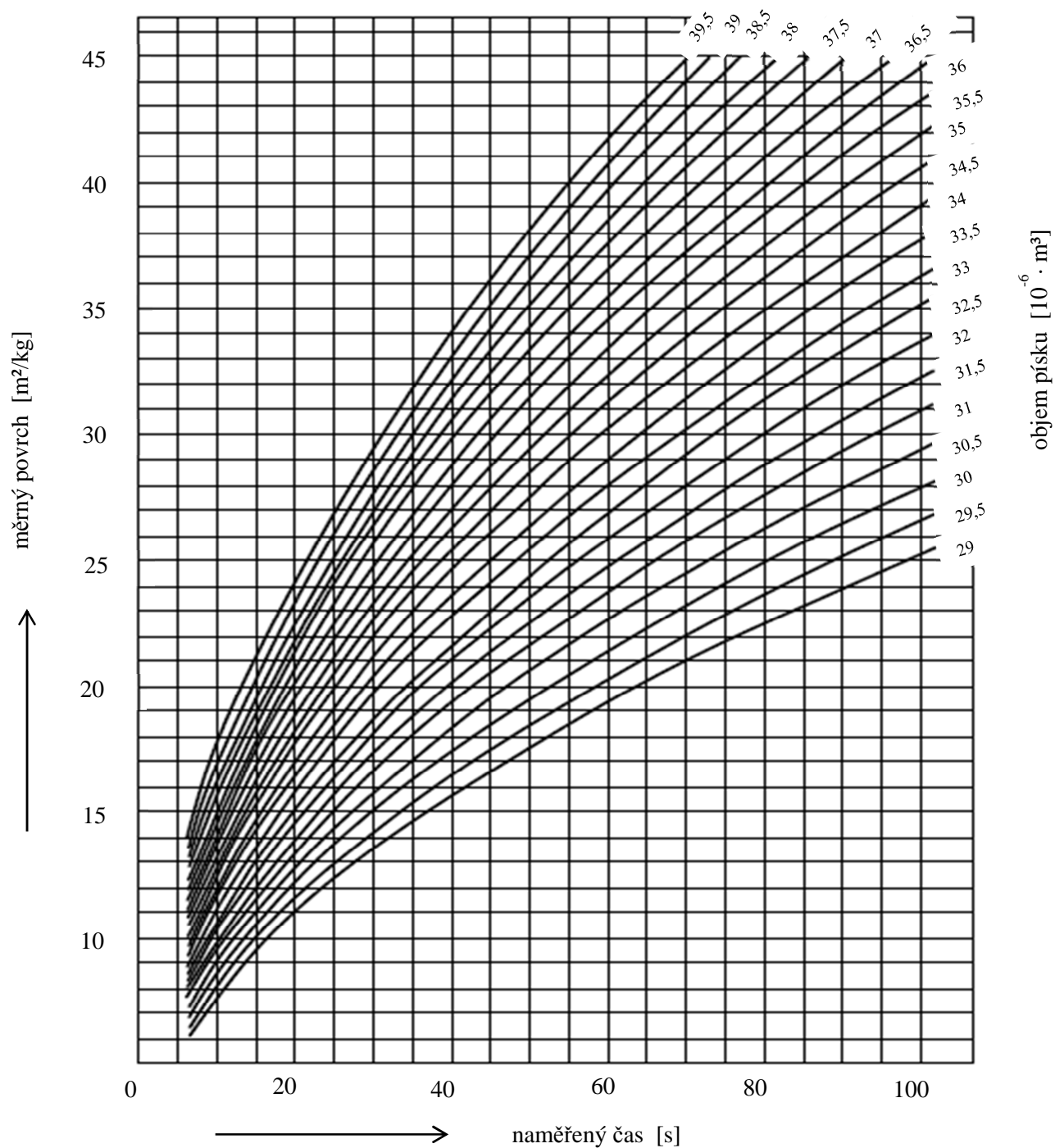
- [1] JELÍNEK, P.: Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí – Ostřiva, Ostrava, 2000.
- [2] RUSÍN, K. a kol.: Slévárenské formovací materiály, Praha, 1991.
- [3] JABŮREK, M.: Metody a zařízení pro zkoušení slévárenských formovacích látek, Brno, 1978.
- [4] SLOVÁK, S.; RUSÍN, K.: Teorie slévání, Praha, 1990.
- [5] MACHUTA, J.: Posouzení plynatosti vybraných slévárenských směsí, Diplomová práce, TU v Liberci 2007.
- [6] MACHUTA, J.: Sledování vlastností formovacích a jádrových směsí během jejich tepelného namáhání, Disertační práce, TU v Liberci 2010.
- [7] Katedra strojírenské technologie: Formovací směsi - zrnitost ostřiva, TU v Liberci, 2011, Cvičení č.1.
- [8] RUSÍN, K.: Formovací materiály a ekologie, Brno, 2007, Přednáška č.2.
- [9] SEIDL.H.- DAHLMAN, M.- IVANOV,S. a KŘISTEK, J.: Syntetická slévárenská ostřiva přinášejí nové možnosti, Slévárenství, 5-6/2002, roč. L, č. 5-6, str.181-184. ISSN 0037-6825.
- [10] CUPÁK, P. a TOMÁŠ,K.: Zkušenosti s nekřemennými ostřivy ve slévárně oceli ŠMERAL Brno, a.s., Slévárenství, 6/2006, roč. LIV, č. 6, s.222-226. ISSN 0037-6825.
- [11] DAHLMAN, M.- RECKNAGEL,U. – IVANOV,S. A LUBOJACKÝ, M.: Speciální písky Huttenes-Albertus pro výrobu slévárenských forem a jader, Slévárenství, 10-11/2006, roč. LIV, č. 10/11, s.416-417. ISSN 0037-6825.
- [12] [Http://www.sklopisek.cz](http://www.sklopisek.cz) [online]. [cit. 2012-03-25].
- [13] [Http://www.bvv.cz/msv/msv-2011/aktuality/slevacum-se-zacina-blyskat-na-lepsi-casy/](http://www.bvv.cz/msv/msv-2011/aktuality/slevacum-se-zacina-blyskat-na-lepsi-casy/) [online]. [cit. 2012-03-25].
- [14] [Http://www.velebil.net/minerality/sillimanit](http://www.velebil.net/minerality/sillimanit) [online]. [cit.2012-03-25].
- [15] [Http://www.prumyslovy-servis.cz/material.html](http://www.prumyslovy-servis.cz/material.html) [online]. [cit. 2012-03-25].
- [16] RADWAG: Uživatelský manuál, Analyzátor vlhkosti MAC, Listopad 2007, 39 s.



Seznam příloh

- Příloha č.1 Diagram pro výpočet vnějšího měrného povrchu při použití přístroje +GF+ [3].
- Příloha č.2 Fotografie slévárenských ostřiv pořízené pomocí mikroskopu připojeného k PC.
- Příloha č.3 Statistické výpočty naměřených a vypočtených hodnot.

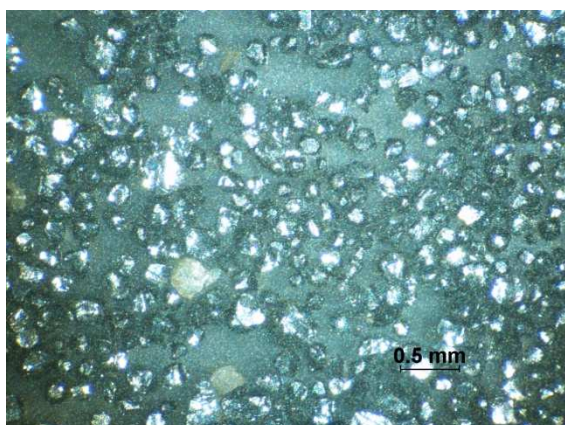
Příloha č.1 **Diagram pro výpočet vnějšího měrného povrchu při použití přístroje +GF+ [3]**



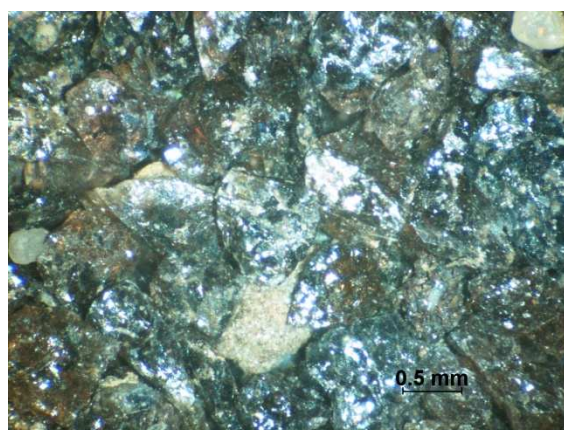
Příloha č.2 Fotografie slévarenských ostřiv

Fotografie jsou pořízené pomocí mikroskopu připojeného k PC v laboratoři na Katedře strojírenské technologie při zvětšení 2,5 x 8.

- A chrommagnezit
- B korund
- C křemenný písek hrubý
- D křemenný písek jemný
- E křemenný písek velmi jemný
- F pouštní písek
- G lupek
- H oxid titaničitý (TiO_2)



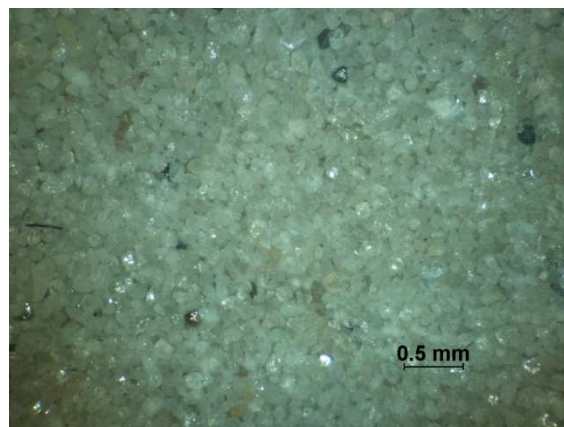
A

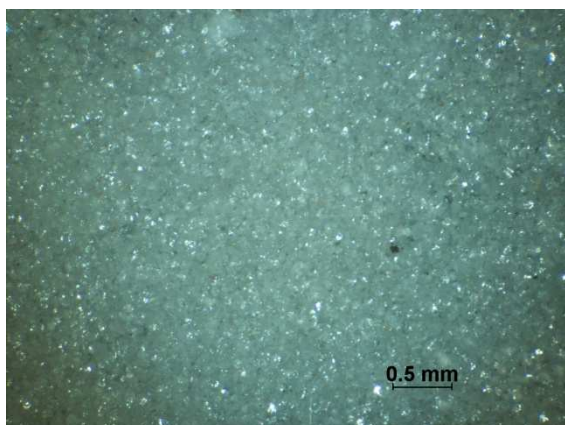


B

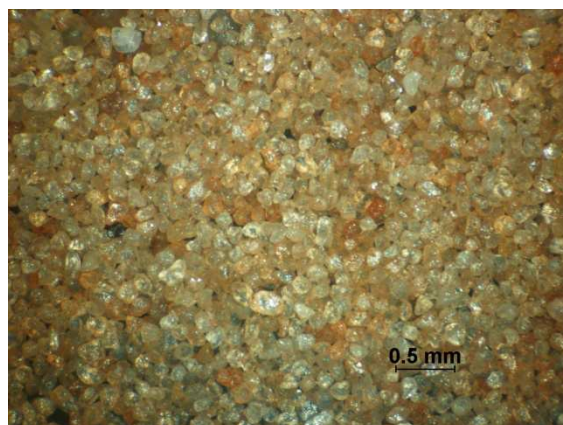


C

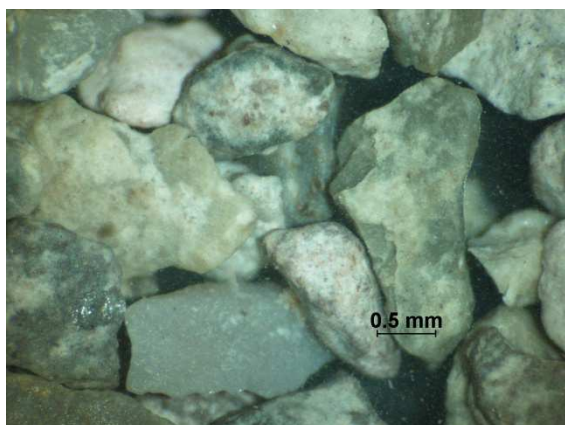
D



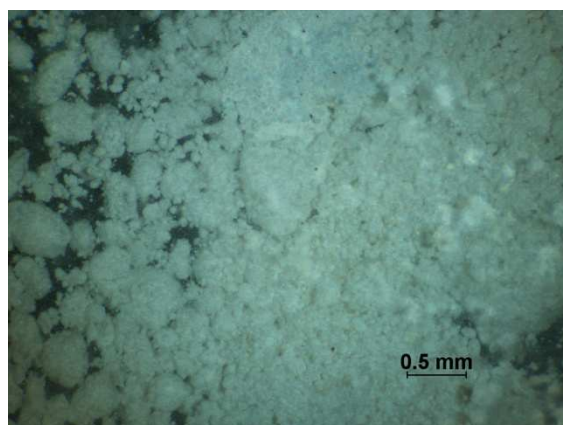
E



F



G



H

Příloha č.3 Statistické výpočty naměřených a vypočtených hodnot [5]

Výpis vzorců použitých při statistickém vyhodnocení naměřených a vypočtených hodnot:

- a) střední hodnota sledované veličiny:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

kde n je počet měření ($n = 10$);

i je pořadové číslo sledované a měřené veličiny;

x_i udává naměřenou hodnotu sledované veličiny při i -tém měření.

- b) směrodatná odchylka sledované veličiny:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- c) rozptyl sledované veličiny:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

- d) variační koeficient sledované veličiny:

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

Výsledky této přílohy statistických výpočtů naměřených a vypočítaných hodnot pro jednotlivá ostřiva jsou zpracovány do přehledných tabulek, kde jsou dále rozděleny dle parametrů, podle kterých byly porovnávány.

Tab. P3-1 Statistické výsledky velikosti středního zrna d_{50} (průměr ok síta, kterému odpovídá 50% z celkové hmotnosti ostřiva).

d_{50}

Ostřivo	Experiment č.	d_{50}	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl sledování	Variační koeficient
ST 53 PAP	1	0.255	0.261	0.006	3.672×10^{-5}	0.023
	2	0.251				
	3	0.256				
	4	0.256				
	5	0.260				
	6	0.265				
	7	0.266				
	8	0.262				
	9	0.271				
	10	0.263				
Porovnávací vzorek KSP-TUL	1	0.260	0.263	0.004	1.773×10^{-5}	0.016
	2	0.260				
	3	0.260				
	4	0.261				
	5	0.268				
	6	0.265				
	7	0.263				
	8	0.257				
	9	0.271				
	10	0.263				

Tab. P3-2 Statistické výsledky hodnot d_{25} (průměr ok síta, kterému odpovídá 25% z celkové hmotnosti ostřiva).

d_{25}						
Ostřivo	Experiment č.	d_{25}	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl sledování	Variační koeficient
ST 53 PAP	1	0.327	0.330	0.004	1.923×10^{-5}	0.012
	2	0.325				
	3	0.326				
	4	0.327				
	5	0.331				
	6	0.332				
	7	0.333				
	8	0.330				
	9	0.340				
	10	0.331				
Porovnávací vzorek KSP-TUL	1	0.339	0.344	0.005	2.827×10^{-5}	0.015
	2	0.340				
	3	0.341				
	4	0.340				
	5	0.351				
	6	0.347				
	7	0.345				
	8	0.337				
	9	0.353				
	10	0.343				

Tab. P3-3 Statistické výsledky hodnot d_{75} (průměr ok síta, kterému odpovídá 75% z celkové hmotnosti ostřiva).

 d_{75}

Ostřivo	Experiment č.	d_{75}	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl sledování	Variační koeficient
ST 53 PAP	1	0.194	0.198	0.005	2.357×10^{-5}	0.025
	2	0.191				
	3	0.195				
	4	0.194				
	5	0.197				
	6	0.197				
	7	0.202				
	8	0.199				
	9	0.208				
	10	0.200				
Porovnávací vzorek KSP-TUL	1	0.189	0.191	0.004	1.801×10^{-5}	0.022
	2	0.189				
	3	0.190				
	4	0.189				
	5	0.195				
	6	0.193				
	7	0.191				
	8	0.182				
	9	0.198				
	10	0.191				

Tab. P3-4 Statistické výsledky hodnot stupně stejnorodosti (pravidelnosti zrnění).

s

Ostřivo	Experiment č.	S	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	Rozptyl sledování	Variační koeficient
ST 53 PAP	1	0.592	0.598	0.008	5.912×10^{-5}	0.013
	2	0.588				
	3	0.597				
	4	0.593				
	5	0.594				
	6	0.594				
	7	0.606				
	8	0.603				
	9	0.613				
	10	0.603				
Porovnávací vzorek KSP-TUL	1	0.556	0.555	0.005	2.988×10^{-5}	0.009
	2	0.556				
	3	0.558				
	4	0.556				
	5	0.555				
	6	0.557				
	7	0.553				
	8	0.541				
	9	0.562				
	10	0.557				